

Research Reports of Tokyo National College of Technology

東京工業高等専門学校

研 究 報 告 書



第 34(2) 号

2003.1

東京工業高等専門学校研究報告書 第34 (2) 号 目次

ハックの「事実の真実」と「心の真実」との闘い (其の3)	岩 崎 健.....	1
工業英語の指導内容について	荒 木 英 彦.....	7
動詞 rage の用法と英語学習辞典の記述	堀 智 子.....	13
日本語の特徴を利用した固定長符号化法の検討	平 尾 友 一.....	23
高専生活の活性化に向けての試み (2) —くぬぎだフォーラムの可能性—	古 屋 正 俊..... 鈴 木 智 之 黒 田 一 寿	29
スキー教室参加学生の意識に関する研究 (2)	鈴 木 智 之..... 古 屋 正 俊 黒 田 一 寿	35
東京高専生の体格・体力・運動能力の変化	黒 田 一 寿..... 古 屋 正 俊 鈴 木 智 之	41
科学技術教育推進のための地域貢献事業実施報告	松 林 勝 志..... 堤 博 貴 小 坂 敏 文	49
再帰呼び出しによる多元トラヒックの評価アルゴリズム	林 善 士.....	55
入力の振幅情報を考慮する複素ニューロン	青 木 宏 之.....	61
H-surface の方程式に対する Plateau 問題と Dirichlet 問題	拜 田 稔.....	65
活性炭吸着及び活性汚泥処理による環境汚染物質の有害性削減評価	庄 司 良..... 西 村 健 志 平 田 房 雄 イエシカ ベプサライネン カロリーナ リュングベルグ	73
Ionization Absolute Humidity Sensor	松 本 茂 昭..... 菊 地 章	81

三宅島火山灰の土壌改良平 田 房 雄..... 91
庄 司 良
成 毛 章 容
須 藤 義 孝

『新撰万葉集』注釈稿（上巻 秋部 五三一五四）津 田 潔..... (1)
半 澤 幹 一

Research Reports of Tokyo National College of Technology No. 34 (2)

CONTENTS

Tatsuru IWASAKI	Huck's Conflicts between Tangible Reality and Intangible Reality (Part Three)	1
Hidehiko ARAKI	On the Teaching Contents of Technical Writing	7
Tomoko HORI	Descriptions of the Verb "Rage" in English Dictionaries for Learners	13
Yuuichi HIRAO	A Consideration of a Fixed Length Coding Method Utilizing Characteristics of Japanese	23
Masatoshi FURUYA Tomoyuki SUZUKI Kazutoshi KURODA	An Attempt at to Vitalize College Life (2) —— Possibility of the Kunugida Forum ——	29
Tomoya SUZUKI Masatoshi FURUYA Kazutoshi KURODA	A Study on Attitude of the Students Participating Ski Project (2)	35
Kazutoshi KURODA Masatoshi FURUYA Tomoyuki SUZUKI	Development of Student's Physique, Physical Strength and Athletic Ability	41
Katsushi MATSUBAYASHI Hirotaka TSUTSUMI Toshifumi KOSAKA	Report of Projects of Contribution on the Community Education in order to Interest Children in Science and Thechnology	49
Zenji HAYASHI	Algorithm of Traffic Evaluation Method for Multi-slot Call Models Employing Recursive Calls	55
Hiroyuki AOKI	A Complex-Valued Neuron Using Input Amplitude Information	61
Minoru HAIDA	Plateau problem and Dirichlet problem for H -surface equations	65

Ryo SHOJI	·····Toxicity Reduction Evaluation (TRE) of Environmental Pollutants	····· 73
Takeshi NISHIMURA	by Activated Carbon Adsorption and Activated Sludge Treatments	
Fusao HIRATA		
Jesica VEPSALAINEN		
Karoliina LJUNGBERG		
Shigeaki MATSUMOTO	·····Ionization Absolute Humidity Sensor	····· 81
Akira KIKUCHI		
Fusao HIRATA	·····Improvement of the volcanic ashes from Mt. Oyama for agriculture	····· 91
Ryo SHOJI		
Akihiro NARUKE		
Yoshitaka SUDO		
Kiyoshi TSUDA	·····The Annotation of the Shinsen-man'yōshū (9)	····· (1)
Kan'ichi HANZAWA		

ハックの「事実の真実」と「心の真実」との闘い（其の3）

岩 崎 健*

Huck's Conflicts between Tangible Reality and Intangible Reality (Part Three)

Tatsuru IWASAKI

Takashi Inukai, a *Man-yoshu* scholar says that there are two kinds of reality, tangible reality and intangible reality, in this world in his interpretation of a famous 31-syllable Japanese poem of Shiki-no-Miko's. I quite agree with him. In fact, Huck, the protagonist of *The Adventures of Huckleberry Finn* suffers from the conflicts between the two reality from beginning to end in the novel.

In this paper, I will try to make an interpretation of what kind of intangible reality Huck believes, because the intangible reality Huck believes seems to be peculiar.

(Key word : reality)

ミシシッピ河を南に下るハックとジムの筏に突然乗り込んで来た、自らを「王様」「公爵」と名乗る2人のペテン師は相当の悪で、行く先々で人々にペテンをかけ、金をだまし取る。挙げ句の果てはジョージ家の孤児の子供たちから、彼女たちが叔父さんから遺産として受け取った6千ドルやら、土地、何軒かの家などの財産全てを巻き上げてしまおうと企む。彼らのこの目論見を知ると、ハックの持ち前の「心の真実」が立ち上がってきて、彼らの企みを潰しにかかる。運の良さも手伝って、ハックは2人のペテン師の企みを阻止することに成功する。2人のペテン師は、自分たちの失敗がハックの仕業によるものであることに気づいてはいない。ジョージ家の子供たちから財産を奪うことに失敗した2人のペテン師は、またさまたまなペテンを試みるが、どれも失敗する。そしてついに万策つきて、こともあろうにハックの仲間であるジムを逃亡奴隷としてフェルプス農場に売り飛ばしてしまう。ハックはジムを助け出そうと、フェルプス農場に向かう。

フェルプス農場に着いたハックは、運命のいたずらとでも言うべき奇妙な巡り合わせにあう。フェルプス農場は、なんとトム・ソーヤーの親戚の家だったのである。しかもトムがまもなく訪ねてくることになっていた。トムの到着を今か今か

と待っていたフェルプス農場のサリー叔母さんは、ハックをてっきりトムとってしまう。ハックもハックで、自分がトムに間違えられていることも確認しないまま、サリー叔母さんが間違えている人物になりすましてしまう。やがて家に戻ってきた叔父さんとサリー叔母さんとのやりとりから、ハックは自分がトム・ソーヤーに間違えられていることを知る。トムに間違えられていることを知ってハックは喜ぶ。トムのことだったら何でも知っているわけだから。

トムに間違えられていることを知ったハックは大慌てで外に飛び出していく。トムが家に入る前にトムに会って辻褄を合わせなければならない。ハックの思惑はうまくいき、フェルプス農場へと向かってきたトムに会い、二人は連れ立って農場に着く。農場に着いたトムは、トムの弟のシッドになりすます。つまり、ハックはトムで、トムはシッドということにしたのである。トムとシッドの二人を迎えたと思っているサリー叔母さんとサイラス叔父さんは大喜びである。思わぬ運命のいたずらの事件が一件落着すると、ハックの思いはジムの消息に向かう。この思いが通じたのか、夕食の時にサイラス叔父さんの子供の一人が言う。「父ちゃん、トムとシッドと僕とでショーに行っ

てはいけないかい」(“Pa, mayn't Tom and Sid

and me go to the show?”) (289)¹⁾。しかし、叔父さんはいけないと言う。

“No, I reckon there ain’t going to be any ; and you couldn’t go if there was ; because the runaway nigger told Burton and me all about that scandalous show, and Burton said he would tell the people ; so I reckon they’ve drove the owdacious loafers out of town before this time” (289)

「駄目だ。ショーはないだろう。たとえあったとしても駄目だ。というのはだな、その逃亡奴隷が、バートンとわしにあのけしからんショーについて何もかも話してくれたんだ。そして、バートンは言っていたぞ、みんなに話してやろうと。今頃はみんながそののらくら者たちを町から追い出しているだろう」

サイラス叔父さんの言葉からジムの消息と、そして王様と公爵の動向が分かる。どうやらジムの身は心配なさそうである。しかし、王様と公爵の方は……。ここでハックは不可解な反応をする。「そうなのか。でも俺にはどうすることもできない」(“So there it was! — but I couldn’t help it”) (289)。「王様」と「公爵」は、ハックを裏切り、ジムをフェルプス農場に売り飛ばしてしまった卑劣漢である。彼らに対して同情を寄せる必要など全くない。ところが「俺にはどうすることもできない」と彼らの運命の結末を哀れんでいる。ここでハックが言っている「それ」(“it”)というのは、「彼らがリンチを受けること」を指しているらしいのだが、「それ」に対してどうすることもできない、と、いかにも無念といった様子なのである。このことは、夕食を済ますとすぐに部屋に引き上げ、その後こっそりと町に向かっていくことから分かる。町に向かったのは、王様と公爵に危険を知らせるためである。

… and shoved for the town ; for I didn’t believe anybody was going to give the king and the duke a hint, and so if I didn’t hurry up and give them one they’d get into trouble sure. (289)

……そして町へと向かった。というのは、誰かが王様と公爵に知らせるとは思われなかったのだ。それでもし俺が急いで奴らに教えてやらなかったら、奴らはきっとひどい目にあうだろう。

ハックはなぜ自分とジムをひどい目にあわせた2人のペテン師を助けようとするのか。不可解なことである。ここで思い出すのが、ハックの「心の真実」である。ハックの「心の真実」というのは、彼の心の琴線に自然に響いて来、彼の心に憐憫の情を引き起こすものであることは、既にこのシリーズの(其の2)(其の3)で語り尽くしてきた。冷静に、客観的に判断するなら、2人のペテン師はリンチを受けても文句は言えないはずである。彼らは人々を散々ペテンにかけ、人々の金をだまし取っているのだから、悪行に対してその処罰を受けるのは当然のことである。それこそまさに因果応報というものである。王様も公爵もこのことは知っていたはずである。その覚悟があったからこそ危ない橋を渡りながらも何度も何度も同じような詐欺を繰り返していたのだろう。彼らは額に汗を流すことなく金を手に入れてきた。そして人々をだますという喜びを味わってきた。捕まってしまったからといって、今更命乞いするというのはちょっと虫が良すぎるのではないだろうか。このように考えるのが普通であり、普遍的なものである。つまり、このように考えるのが「事実の真実」である。

王様と公爵を助けるために町に向かったハックとトムだが、時既に遅し。手に手に松明やブリキ鍋を持った大勢の人々に取り囲まれた2人のペテン師は、身体中にタールを塗りたくられ、鳥の羽根をまぶされ、横木に馬乗りにさせられて運ばれていくところだった。その2人の様子は「人間らしいところはどこにもなかった」(“…didn’t look like nothing in the world that was human”) (290)というほど惨めなものであった。この光景に接したときのハックの心中やいかに。

Well, it made me sick to see it ; and I was sorry for them poor pitiful rascals, it seemed like I couldn’t ever feel any hardness against

them any more in the world. It was a dreadful thing to see. Human beings can be awful cruel to one another. (290)

それを見て俺は気分が悪くなった。そしてその気の毒な哀れな悪党共がかわいそうになった。彼らに対して冷淡になろうなんて全く思わなかった。見るも恐ろしい光景だった。人間というものはお互いに対してひどく残酷になれるものなのだ。

ハックは今、その心の琴線を動かされ、憐憫の情を掻き立てられている。「事実の真実」は影を潜め、「心の真実」につき動かされている。

それにしてもハックのこのような心の動きには子供離れしたものがある。何か超越的なものがある。自分を散々いじめ、挙げ句の果ては自分にとって最も大切なジムを奪ってしまった相手に対して、憐憫の情さえ持つようになっているのだから。心底心の優しい少年なのであろう。ところで、ハックのこの超越した優しさを、ハックの「心の真実」によるものという説明だけで片づけていいものだろうか。

武田貴子氏がその論文「ハックルベリー・フィンの冒険」の中で興味深いことを論じている。

物語の最初の章で、トウェインは旧約聖書『出エジプト記』のモーゼと葦の話に言及する。ハックは死んだ人間のモーゼのことなんかどうでもよいと言うが、このモーゼと葦のエピソードは物語の象徴的レベルにおいて重要である。旧約聖書のモーゼと葦のエピソードというのは、エジプトの王が奴隷の民であるイスラエル人の反乱を恐れて、ヘブル人に生まれた全ての男の赤ん坊をナイル川に流すように命ずるが、後にイスラエルの民を開放するモーゼは葦の間に置かれて、その難を逃れるというものである。川に流される幼少のモーゼの姿は、親の虐待から逃れて川を下るハックの姿に重なる。しかも、奴隷の民を解放するモーゼのように、ハックは黒人奴隷のジムを解放する役割を担っている²⁾。

このように、ハックをモーゼに重ね合わせてこのハックの物語を読んでいくことには、ある種の

説得力がある。特に次のような言葉に於ては。

この小説（『ハックルベリー・フィンの冒険』）のクライマックスとも呼ぶべき部分においても、『出エジプト記』32章のモーゼと呼応するものがある。冒険の終わり近く、ジムが再び奴隷として売られた時に、ハックは南部社会の「良心」の声に背いて、「よし、それなら、おれは地獄へ行こう」といって、ジムを救い出そうと決断する。これは、神の怒りをかったイスラエルの民を救うために、自らの名を救済の書から消すように望んだモーゼと同じである³⁾。

と言ったからといって、私は武田氏の言葉をそのまま受け取っているわけではない。確かにハックにはモーゼを想起させるところがある。しかし、この2人のペテン師がリンチを受け、それに対してハックが憐憫の情を寄せている、という場面に武田氏の解釈をそのまま当てはめるわけにはいかない。モーゼには憐憫の情に浸っている余裕などなかったはずであるから。では、どのような理由で私は武田氏の解釈が興味深いと言っているのか。

モーゼの末裔がイエスであることに異論を唱える者はいないであろう。犬養道子氏は『旧約聖書』と『新約聖書』の違いを、「種子と、種子から出て亭々たる大木となった樹木との違い」⁴⁾と言っているが、この違いをモーゼとイエスの違いにそっくり当てはめることができるように思われる。更に犬養氏によるとアウグスチヌスは「旧約は新約を内深く秘め、新約は旧約の完成である」⁵⁾と言ったそうであるが、これらの解釈をハックに当てはめたらどうだろうか。つまりハックは、モーゼとイエスを強く意識して創造された人物である、と。このように解釈すると、ハックに対する解釈が、特にハックの「心の真実」に対する解釈が、更にスムーズにいくように思われる。

王様と公爵の2人のペテン師が町の人々からリンチを受けている様子を目撃し、それに対してハックは、自分が彼らによって散々ひどい目にあわせられたにもかかわらず、彼らがリンチを受けているのは自分にその責任があるような受け止め方をしている。

I warn't feeling so brash as I was before, but kind of ornery, and humble, and to blame, somehow — though I hadn't done nothing. But that's always the way ; it don't make no difference whether you do right or wrong, a person's conscience ain't got no sense, and just goes for him anyway. (290)

俺には、はやる気持ちがなくなっていた。何となく自分を下劣で卑しく感じ、どういうわけか自分を責めたい気分になっていた。もっとも俺は何もしていなかったのだが。でもいつだってこんな調子なんだ。正しいことをしようと、間違ったことをしようと変わりはない。人間の良心なんて分別がない。とにかく責めてくるんだ。

ハックのこの言葉はイエスを思い出させる。イエスは言う。「人もし汝の右の頬を打たば、左をも向けよ。なんぢを訟（うった）えて下衣（したぎ）を取らんとする者には上衣をも取らせよ。……汝らの仇（あた）を愛し、汝らを責むる者のために祈れ」（マタイ伝、5、39—44）⁶⁾。勿論、ハックがイエスのこの域まで達しているなどと言うつもりはない。しかし自分を散々ひどい目にあわせ、挙げ句の果ては自分にとって最も大切なジムを奪ってしまったペテン師たちが、その悪業ゆえに人々に捕まってリンチを受けると、その責任が自分にあるようにさえ思ってしまう。この域にまで達することのできる人はそう多くはない。普通の人にはできないし、かなり常軌を逸している。それゆえにイエスに通ずるものがある、と私は主張したい。

ヘミングウェイは、トム・ソーヤーが再登場してくる33章以降はごまかしである。従って黒人のジムがペテン師たちによって奪われてしまうところで読むのをやめたほうがいい、といった趣旨のことを言っている⁷⁾。確かにヘミングウェイの言葉には一理ある。33章以降はトムの独壇場であり、ハックやジムの存在感は一気に減少する。しかもトムの独演は茶番劇で、まともに読むことにある種の空しさすら覚えるほどのひどさである。例えばトムは、ハックがジムを盗み出す手助けをしたいと申し出るのだが、トムが考え出すその救出方

法たるや、とてつもなく陳腐なものである。具体的な例を挙げるなら、ジムは足に鉄の鎖をはめられてベッドの脚に繋がれている。しかし捕えたフェルプス農場のサイラスがお人好しなために、それほど厳格な捕え方をされてはいない。ベッドの脚をひょいと持ち上げれば鉄の鎖はベッドの脚から外れるようになっている。ところがトムはこれが気に入らない。ベッドの脚を持ち上げるくらいで鎖が外れてしまうのでは困る。ベッドの脚をこっそりと鋸で切ることによって、しかもその切った脚を巧妙にくっつけておいて、いざ逃亡というときにパッと外れるようにしておきたいのだと言う。一時が万事。あるいはまた、ジムが捕まっている小屋から逃げ出すときにはナイフでこっそりと掘ったトンネルから抜け出すべきだとトムは主張する。その気になれば小屋の窓から抜け出すこともできるというのに。つまり、『モンテ・クリスト伯』の主人公のように脱出すべきだとトムは言い張るのである。トムの主張は全てが昔のアレクサンドル・デュマ、ヨセフ・サビエル・ボンファス⁸⁾などの書物に書かれているように、ということであり、更には、トレンク男爵、ベンベヌート・チェルリーニ、アンリ4世などの英雄がやったようになすべきだと言うのである。それが正統であり、正しいことであるとトムは考える。トムのこのような主張は本当に馬鹿馬鹿しく滑稽である。そして33章以降はハックやジムは脇役に回り、このようなトムが表面に出てきて、最後の章まで続いていく。ヘミングウェイが33章以降はごまかしであると言ったのも当然かも知れない。もっとも私はヘミングウェイには同意しがたく、作者マーク・トウェインはこの33章以降を書きたいがためにこの作品を書いたのではなからうか、とも考えているのだが。このことについては『アメリカ小説に見るアメリカの夢』⁹⁾の中で詳しく言及したので、ここでは簡潔に述べるに止める。

『ハックルベリー・フィンの冒険』を執筆当時のマーク・トウェインは、必ずしもデイヴィッド・マドンの言う「アメリカの夢の信者」、つまりアメリカの夢を肯定する人物、ではなかったと思う。とするとマーク・トウェインがこの作品で書きたかったことは、「僕は冒険が欲しかったのです」（“I wanted the adventure of it”）（357）と

いうトムの叫びではなかったのだろうか。つまりその当時のアメリカには、トムのような平均的な少年がとことん自分の生命を燃焼させられるような自由が既になくなっていった。トムに象徴されているように、彼らは文明の枠にはめられ、堅苦しい生活を余儀なくさせられていた。そのためにその生活は硬直し、退屈なものになっていた。このようなことを打破するために、トムはごまかしの冒険をせざるを得なかった。このように考えると、33章以降は俄然光り輝き、大きな意味を持つてくるように読める。

33章以降をどう読むか。このような読み方の他に、先程から予告しているように、ハックはイエスを強く意識して創造された人物である、といった読み方をしてみると、33章以降にはまた別の面が見えてくるのである。

イエスの生涯の後半が伝えているものは何であろうか。それは徹頭徹尾、イエスがいかに無力であるか、ということであろう。イエスは言う。

「汝等徴（しるし）と奇蹟を見ずば、信ぜじ」（ヨハネ伝、4の48）^{10）}。遠藤周作氏がこの言葉について解説する。「人間は現実世界では結局、効果を求めるからである。病人たちは結局は癒（いや）されることを、足なえは歩けることを、盲人は眼のひらくことを――現実的な効果を求めるからである」^{11）}。しかし、イエスが教えようとしていたことは何か。それは「愛」である。「愛」は心の領域のものであり、目には見えない。足なえは歩けるようになれば「愛」など必要ではなくなるだろう。盲人は眼がひらくようになれば「愛」などどうでもいいだろう。私たちが求めていることははっきりと目に見えることである。ところがイエスが教えようとしたことは同情することである。足なえで苦しんでいる人がいたら、その人に寄り添い共に苦しんでやることである。目が見えない人がいたら、一緒に涙を流してやることである。しかし、人間はこんなことを理解できるはずがない。表面的には理解できても、心の底からは理解できない。人間は目に見えるものしか理解できないものなのである。その証拠にイエスの愛弟子でさえもいざイエスが逮捕されると、師を棄ててみんな逃げてしまう。一番弟子のペテロなど最もひどい。「我その人を知らず」（マタイ伝、26の74）^{12）}と言ってイエスの存在すら否定してし

まうのだから。もしイエスの教えが理解できていたら、イエスと共にいて、イエスと共に苦しんでやったはずである。それこそがイエスが説いていた教えだったのだから。故に、弟子にさえも教えを説くことのできなかった生涯の後半のイエスは無力であった。ただ一人の理解者も持たず、他の人々のなすがままに弄ばれるだけだったのだから。

33章以降のハックも同じである。これまでの物語の展開具合からすれば、ハックには主役の座を下りてもらいたくはない。ハックにこそぜひフェルプス農場からジムを取り戻す役目をしてもらいたい。この場合どのような筋の展開になるのか、私には見当がつかないが。とにかく、ハックとジムとの関係はH. スミスが「聖者の共同体」とさえ呼んでいるほどの深い関係なのである^{13）}。二人はこの関係を引き裂かれ、今や離れ離れになっている。従ってこの関係の結末は、それがどのようなものになるにしろ、ハックが主体になって解決してもらいたい。いや、ジムでもかまわないが。間違っても第三者、つまりトムなどによって解決してもらいたくはない。この物語は何と言ってもハックの物語なのである。だからこそ作者はこれに『ハックルベリー・フィンの冒険』というタイトルをつけたのだろう。しかしジムはトムの主導の下で救出されることになる。このトムの前ではハックは全く無力で、トムの言いなりになっている。トムの言動に多少なりとも人の心を打つものがあるならともかく、そういったものもない。ということになると、トムが主体となるこの後半部分は、確かにヘミングウェイが指摘しているように「ごまかし」と言われてもしかたがない。

しかしもし作者がハックをイエスに重ね合わせてこの作品を創作していたとしたら、この後半部分は様相を変えてくる。既に述べてきたように、私はこの作品を「ハックの『事実の真実』と『心の真実』との闘い」という観点から解釈しようとしている。つまり簡潔に言うなら「ハックの心と社会との闘い」という角度から読もうとしている。ハックの「心の真実」というのは、「其の2」で定義したように「彼の心の琴線に自然に響いてきて、彼の憐憫の情を引き起こすもの」である^{14）}。しかし、このことを第三者に理解してもらうことは難しい。なぜならこれはハック独自のものであるから。

現に誰一人としてハックのこの「心の真実」を理解している者はいない。あのジムでさえハックにはついていけない。王様と公爵のことをジムが評する。「あんな手合いはもうこりごりだ」(“I doan hanker for no mo’un um”) (200)。しかしハックは、ジムがこのように切り捨てる王様と公爵を、

It’s the way I feel, too, Jim. But we’ve got them on our hands, and we got … make allowances. (201)

俺だって同じ気持だ、ジム。でも俺たちは奴らを背負い込んでしまったんだ。……大目に見なければならぬんだ。

と手を差し延べ、あくまでも優しい。

33章でトムが登場し、ジム救出作戦を開始すると、ハックはほとんど存在感がなくなり、無力になる。ハックが何を言い、何をしても、トムの前では否定されてしまう。そしてハックの「心の真実」は、トムの権威、伝統をふりかざしての「事実の真実」の前に影を潜めてしまう。これはイエスの「愛」の教えが人々に理解されなかったと同じように、ハックの「心の真実」がいかに理解しがたいものであるかを伝えようとしているのではないだろうか。

《註》

- 1) Mark Twain, *The Adventures of Huckleberry Finn* (Berkeley, University of California, 1988)。なお、これ以降のこのテキストからの引用はすべてこのように括弧を設け、その中にページ数を記す。
- 2) 武田貴子、ハックルベリー・フィンの冒険（『川のアメリカ』所収）
- 3) *ibid.*,
- 4) 犬養道子、新約聖書物語（新潮社、東京、1980）P. 532.
- 5) *ibid.*, P. 532.
- 6) 旧新約聖書（日本聖書教会、東京、1982）P. 7.
- 7) Ernest Hemingway, *Green Hills of Africa* (Harmondsworth; Penguin Books, 1966) P. 26.
- 8) 勝浦吉雄氏が『ハックルベリー・フィンの冒険』（文化書房博文社、東京、1998）訳の中でつけている注釈より。
- 9) 拙書、アメリカ小説に見るアメリカの夢（近代文芸社、東京、1995）P. 133–169.
- 10) 6) に同じ
- 11) 遠藤周作、イエスの生涯（新潮社、東京、1975）P. 70.
- 12) 6) に同じ
- 13) Henry N. Smith, “Mark Twain, Adventures of Huckleberry Finn” in *V. O. A. Forum Lectures of The American Novel* (Eichosha-Shinsha, Tokyo, 1983) P. 49.
- 14) 拙論、ハックの「事実の真実」と「心の真実」との闘い（其の2）（東京工業高等専門学校研究報告書第34号、2002）P. 4

（平成14年9月10日 受理）

工業英語の指導内容について

荒 木 英 彦*

On the Teaching Contents of Technical Writing

Hidehiko ARAKI

Next year technical writing is introduced in the third grade of this college. However, its goals and teaching contents are not defined precisely. This paper introduces how to teach technical writing in New Course of Study revised by the Ministry of Education, and attempt to find ideal teaching contents of technical writing.

(Key word : technical writing)

1. はじめに

本校では平成13年度入学生から授業科目・内容等が変更され、いわゆる新カリキュラムに従って授業が行われている。平成13年度入学生は3年次において「工業英語」の授業を履修することになっている。しかしながらその授業目標・内容等ははまだはっきりとは定まっていない。

2～3年前からその準備段階として、3年次の総合英語Ⅲの授業で工業英語を指導している。現在、その授業では工業英語の導入教育を行い、具体的な学習到達目標としては文部科学省認定工業英検3級に合格する力をつけるように指導している。そして試行錯誤を繰り返しながらより良い授業目標・内容（言語材料）等を考案中である。

本校の教育内容は学習指導要領の拘束は受けないが、現在の新カリキュラムにおける英語の授業は中学・高校の学習指導要領の改訂を考慮して、その科目・内容を決定してきた。また、現在1・2年次の授業では（英会話・LLの授業を除く）高校の検定教科書を使用して指導している。いわばそれは学習指導要領にのっとって指導をしているとも言える。そこで新しい高校の学習指導要領における工業英語の指導についての記述をひとつの手掛かりとして本校における工業英語の指導内容等を検討してみたい。

2. 新学習指導要領の改訂の趣旨及び工業技術英語の目標

新学習指導要領から改訂の趣旨及び工業技術英語の目標について記述されている部分を抜粋すると以下ようになる。

第1章 総説

第1節 改訂の趣旨

(2) 科目の改善

カ 国際化に対応した科目の改善

『国際化進展に適切に対応するため、従前の「工業英語」を「工業技術英語」と名称を変更するとともに、技術者として必要なより実践的な英会話力と情報通信ネットワークを利用したコミュニケーション能力の育成が図られるように内容の改善を図った。』

第2章 各科目

第9節 工業技術英語

『この科目は、従前の「工業英語」の内容に、会議に必要な会話実践、プレゼンテーションの仕方、情報通信ネットワークを利用したコミュニケーションを取り入れ、より実能力的な能力を高めるようにしたものである。』

第1 目標

『工業の各分野における生産、営業及び管理の業務に必要な技術英語に関する知識と表現技術を習得させ、実際に活用する能力と態度を育てる。』

この科目のねらいは、中学校及び高等学校で学習する英語の基礎的・基本的な内容に重点を置き、平易な文章の中に平易な技術用語を用いることから、徐々に専門的な技術用語を用いるようにし、工業の各分野における生産、営業及び管理の業務に必要な技術英語に関する知識を習得させ、実際に活用する能力と態度を育てることである。

具体的には、会議に参加したり、プレゼンテーションを行う場合に必要の実践的な表現能力や、近年の情報通信ネットワークの発達に伴う英語によるコミュニケーションにも対応できる能力と態度を育てることをねらいとしている。

我が国の製造業が国際的な展開をしていることに配慮し、国際社会に貢献できる日本人を育成する視点に立ち、工業に関する実践的な事例を取り上げることが大切である。

3. 新学習指導要領における工業技術英語の内容

新学習指導要領で工業技術英語の内容について記述されている部分を抜粋すると以下ようになる。

第2章 各科目

第9節 工業技術英語

第2 内容とその取扱い

1 内容の構成及び取扱い

この科目は、(1)工業に関連した簡単な会話、(2)会議における会話、(3)プレゼンテーション、(4)情報通信ネットワークを利用したコミュニケーション、(5)工業技術に関連したリーディングとライティングの5項目で構成しており、2～4単位程度履修されることを想定して内容を構成している。また、内容の構成及び取扱いに当たっての留意事項は次のように示されている。

（内容の構成及び取扱い）

ア 指導に当たっては、英語科教員やネイティブ・スピーカーとの連携について留意すること。

イ 指導に当たっては、工業の各分野で共通に必要なとされる実践的な事例を取り扱い、基礎的な用語を使用し、専門的な用語は各分野の必要に応じて取り扱うよう留意すること。

指導に当たっては、英語科の関連科目の内容及び英語科教員やネイティブ・スピーカーとの連携を図るとともに、リーディング及びリスニングに

重点を置いた指導から、ライティング及びスピーキングの指導へと展開するよう留意する。また、工業に関する実践的な事例を取り上げ、各学科で共通に必要なとされる内容を中心に、平易で基礎的な用語を使用し、専門的な用語は各学科の必要に応じて取り上げるよう留意する。

2 内容

(1) 工業に関連した簡単な会話

（内容の範囲や程度）

ア 内容の(1)については、技術者としての自己紹介及び工場や実験室での簡単な会話を扱うこと。

ここでは、中学校及び高等学校で学習した一般的な自己紹介に加えて、技術者としての仕事内容や自分の得意な工業分野、これまでの経験などを専門用語を用いて表現できるようにする。また、工場や実験室において行われる簡単な会話ができるようにするが、「工業技術基礎」、「工業数理基礎」などの科目で扱う基礎的な専門用語を用いるようにする。

(2) 会議における会話

（内容の範囲や程度）

イ 内容の(2)については、会議での簡単な質問の方法及び自分の意見を述べる方法を扱うこと。また、司会者として会議を進める際に必要な基本的な表現を扱うこと。

ここでは、会議に参加した場合の質問の仕方や意見の述べ方、司会者として会議を進行していくために必要な基本的な表現などを取り上げ、討論を行うために必要な基礎的な表現ができるようにする。その際、実際にテーマを設定し、模擬会議を行うなど、体験的な学習を工夫することが大切である。

(3) プレゼンテーション

（内容の範囲や程度）

ウ 内容の(3)については、各種の資料を用いて発表する際の基本的な表現を扱うこと。

ここでは、プレゼンテーションの構成と役割について、グラフで表されたデータを説明するなどの簡単な実例を取り上げ、各種の資料を用いて発表する際の基本的なプレゼンテーションの表現技法を習得させる。その際、実際に簡単なプレゼンテーションを行わせるなど体験的な学習を工夫するとともに、プレゼンテーションで使用する主な

機器の使用法やプレゼンテーションを行うために必要な態度を身に付けさせるよう留意する。

(4) 情報通信ネットワークを利用したコミュニケーション

(内容の範囲や程度)

エ 内容の(4)については、情報通信ネットワークを活用した簡単な英文による部品の注文や説明などを扱うこと。

ここでは、情報通信ネットワークを利用した電子メールによる部品の注文や説明に関するリーディングやライティングなどを取り上げ、情報通信ネットワークを利用したコミュニケーションの方法を習得させる。

(5) 工業技術に関連したリーディングとライティング

(内容の範囲や程度)

オ 内容の(5)については、工業製品仕様書の読解、報告書や図表の作成など、工業の各分野における基礎的な題材を取り上げて、表現技術を習得させること。

ここでは、英語で書かれた工業製品の仕様書や実験・実習報告書等を教材として取り上げ、工業製品の仕様書や報告書の構成、数学的な表現、図表の作成方法について理解させる。さらに、平易な工業技術英語を用いて書かれた工業の各分野における文献を読んだり、生徒の興味・関心に応じて、基礎的な専門用語を含む平易な工業技術英語を書いたりする学習を通して、英語による表現技術を習得させる。

4. 本校における工業英語の指導目標・内容について

前述した学習指導要領の指導目標・内容は本校において工業英語を指導する際の大きな指針とすることができるが、それはあくまでもいわゆる工業高校における工業英語の指導目標・内容である。

本校の教育課程・教育内容等はもちろん学習指導要領の拘束は受けていない。また本校ではその他の英語科目も設定されているのでそれらとの関連も含めて本校での工業英語の指導目標・内容を検討する必要がある。

(1) 指導目標

学習指導要領には工業技術英語の目標は『工業の各分野における生産、営業及び管理の業務に必

要な技術英語に関する知識と表現技術を習得させ、実際に活用する能力と態度を育てる。』となっている。この目標はいわば普遍的なもので、本校における工業英語の指導目標もこれでよいと言える。

しかし近年ではとくにプレゼンテーション能力と情報通信ネットワークの発達に伴う英語によるコミュニケーション能力についてより育てていく必要がある。

(2) 指導内容

学習指導要領における工業技術英語は、その目標を達成するために、①工業に関連した簡単な会話、②会議における会話、③プレゼンテーション、④情報通信ネットワークを利用したコミュニケーション、⑤工業技術に関連したリーディングとライティングの5項目で構成されていて、2～4単位程度履修されることを想定して内容が構成されている。

本校では工業英語の授業は3年次に2単位設定されている。工業高校においては、1・2年次に英語Ⅰまたは英語Ⅱを学んでいる。そして3年次で工業英語を選択科目として履修する人が多いと思われる。本校でも1・2年次に英語Ⅰ・Ⅱに相当する内容を学習した後で工業英語を学習する。また同時に3年次においては英会話と英語プレゼンテーションの授業が設定されている。そのため上記の①～⑤のうち①～③は英会話と英語プレゼンテーションの指導内容とすることができる。

ただし、現在英会話の授業では日常的なトピックを扱っている。工業に関連したトピックを題材に会話をするためには、一般会話と比べ特別な技術知識は必要ではなく、単に工業に関連する語を英語で言うことができるかどうかの、つまり語彙力の問題となる。そのため前述した指導目標を達成するためには英会話の授業で会話力をつけ、工業英語の授業で工業に関する語彙力をつければよいことになる。

また英語プレゼンテーションはまだ開設されていない科目なので、その指導内容を設定する際に、プレゼンテーションのみならず、会議に関する英語表現も指導内容に含めるようにすればよい。

すると残った④情報通信ネットワークを利用したコミュニケーション、⑤工業技術に関連したリーディングとライティングが本校における3年次の工業英語の指導内容とすることができる。現

在の3年次の総合英語では工業英語の基礎表現を身につけるとともに工業技術に関連したリーディングとライティングを行っているので、ほぼ内容的にはうまくいっている。しかしながら、情報通信ネットワークを利用したコミュニケーションについては指導していないので、授業環境の整備も含めてこれからの課題である。

5. 工業英語の指導における言語材料について

新学習指導要領には工業技術英語の言語材料については細かい記述はない。通常の英語教科（英語Ⅰ・Ⅱなど）については学習指導要領において、言語材料つまり教えるべき文法事項や語彙（語彙数）の指示がある。

そのため本校において工業英語を指導する際に提示すべき言語材料、つまり教えるべき文法事項、語彙等について検討する必要がある。

そして学習指導要領に沿った教科書や今まで本校で使用してきた工業英語に関するテキスト、並びに本校において工業英語学習の具体的な目標としている工業英検3級の問題、検定対策書等から多く用いられている文法事項、重要表現を調査・整理した結果、以下ようになった。

(1) 文法事項

文法については英語Ⅰ・Ⅱ（本校では1・2年次における「英文法英作文」・「英語読解」の授業）で既に学習している。そのため新たに提示すべき文法事項はないが、以下のように工業英語でよく用いられる文法事項を復習の意味もかねて、実際の文章例をあげて、整理して提示するとよい。また受動態については工業英語では多く使用されるので、そのさまざまなバリエーションについても整理して提示するとよい。

さらに、関係詞（主として関係代名詞）はリーディングの際に頻繁に出現する。しかし関係詞については学生の理解が乏しく、関係文が主文に割り込んでいる形の割り込み文や、関係詞が省略されている場合などは複雑で学生が理解しにくい文なので詳しく指導しておく必要がある。

①不定詞

- It will take ten days to finish that work.
- A thick layer of paint will take a long time to dry.
- Most brakes use friction to reduce speed.

②原形不定詞

- Have him check the steam pressure.
- Applying oil will make it slide smoothly.

③動名詞

- Flipping this switch up turns on the light.
- Sound is produced by vibrating materials.

④現在分詞

- An induction motor works on alternating current.
- A current leaking from the cable was detected.

⑤過去分詞

- A thermostat maintains the desired temperature.
- Heat energy can be defined as the energy produced by the movement of molecules.

⑥受動態

- That condition is described on page 100 of the manual.（現在形）
- The latest machinery was installed in the factory.（過去形）
- This old model is not recommended.（否定）
- The current must be switched off at the main power switch.（助動詞）
- The conveyor is being repaired.（進行形）
- The spindles have already been replaced.（完了形）

⑦接続詞(1)（等位接続詞 [and, but 等]）

- Plant distribution is shown in land areas, and surface temperature distribution in sea areas.
- The detector converts the received optical signal into an electrical signal, then sends it to the DC amplifier.

接続詞(2)（従属接続詞 [that, when, if, though 等]）

- Hydroelectric power has the advantage that it is inexhaustible.
- An electrical current is also a type of kinetic energy because electrons move from atom to atom.
- When the filter becomes dirty, remove the filter and spray it with this cleaner.
- If the engine does not work, the electrical system is probably out of order.
- Water does not boil unless you heat it to 100°C.

- Keep pressing it until the adhesive dries.
- The moment the switch was turned on, it sparked.
- Once taken apart, it is hard to put back together again.

㊦接続詞とともに、接続詞を含む文(節)を変換させた分詞構文もあわせて提示するとよい。
接続詞(3)その他、接続詞の役割をする語句

- The quantity is so small that it cannot be detected.
- Steam engines were too heavy to be tried in airplanes.
- The bolt cannot be removed no matter what tool is used.

⑧関係詞(1)(基本形)

- A rocket engine is an internal combustion engine that uses its own supply of oxygen for combustion.
- A camera is a lightproof box into which light is admitted through a lens.

関係詞(2)(割り込み文)

- An electric current which flows through a coil of wire round an iron bar produces magnetism in it.

関係詞(3)(関係詞の省略)

- The number of motions a robot can perform is determined by the number of axes the robot has.
- Petroleum is a mixture of many oils, but they can be separated in the ways we have described.

⑨無生物主語

- This new machine saves us a lot of time.
→We can save a lot of time with this new machine.

⑩名詞構文

- The use of transformers is common in reducing or increasing voltage of alternating current.
→Transformers are widely used in reducing or increasing voltage of alternating current.
- An increase in the thickness of the lagging will eliminate heat loss.
→If the thickness of the lagging is increased, there will not be heat loss.

⑪冠詞や複数形

例文省略

(2) 重要表現

工業英語では数量・単位を表す表現、位置関係を表す表現、指示表現、比較表現等が多く用いられる。そのため以下のような英文を整理して提示するとよい。

①数量・単位を表す表現

- Ten divided by five equals two. (数式)
- This wire is one micron or less in diameter. (長さ)
- This plant has an area of 10,000 square meters. (面積)
- This furnace is 100 cubic meters large. (体積)
- This beaker contains 1 liter. (容積)
- This machine weighs about 30 kg. (重さ)
- It takes an hour to finish the work. (時間)
- The temperature is ten degrees below zero Celsius. (温度)
- There is a slight vibration at around 120 mph. (速度)
- Halley's Comet can be seen every 76 years. (回数)
- We reduced production by 10%. (百分率)

②位置関係を表す表現

- These two lines are at right angles to each other.
- Turn the knob counterclockwise.

③指示表現

- Draw a diagonal line.
- Load the camera with film.
- Be careful when using that cutter.
- Do not raise the pressure in the tank any higher.
- Never throw water on an organic solvent fire.

④比較表現

- The earth's diameter is almost four times as large as the moon's.
- The longer the plate is exposed to the sun light the more fragile it gets.

(3) 語彙

工業英語で用いられる語は大きく以下の3つに分けられる。

- ①一般の英語でも用いられる語

②一般の英語でも用いられる語であるが、工業英語では異なる（特別な）意味で用いられる語。

③工業英語でのみ用いられる語（technical term）これらはさらに基礎用語と各専門分野別の語に分けられる。

④基礎用語とはどの学科においても共通に指導しておきたい語で工学の基礎となる現象や機械の仕組み等を説明するために必要な語彙である。

①の語については1・2年次においてかなりの数の語（約1,000語）が提示されている。また本校では1年次から3年次までは大学受験用の単語集（3,000語収録）を用いて学習させている。

そのため3年次においては1年間で約1,000語程度の③の語句（ほとんどの基礎用語と少しの各専門分野別の語）を指導するとよい。

その他の各専門分野別の語、いわゆる専門用語は4年次以降において、各専門学科の授業の中で指導するとよい。

また具体的な語例については、各専門学科に協力していただいて現在検討中である。

6. まとめ

新学習指導要領を手掛かりに工業英語の指導内容等を検討した結果、本校における工業英語の指導目標と指導内容（言語材料）についてまとめることができた。

しかし今後の課題として授業環境の整備も含めて、情報通信ネットワークを利用したコミュニケーションの指導方法を検討する必要がある。

また前述した言語材料の提示方法や身につけさせる方法などを、今回の検討結果（指導目標・指導内容）にもとづいて授業を実施しながら、さらに検討する必要がある。

7. 参考文献

- 1) 文部省：「高等学校学習指導要領解説 工業編」 実教出版
- 2) 岩本 洋他：「工業英語」 実教出版
- 3) 「工業英語ハンドブック」 日本工業英語協会
- 4) 「工業英検3級対策」 日本工業英語協会

（平成14年9月18日 受理）

動詞 **rage** の用法と英語学習辞典の記述

堀 智 子*

Descriptions of the Verb “Rage” in English Dictionaries for Learners

Tomoko HORI

This paper examines descriptions of the usage of the verb “rage” in English dictionaries for learners. It (a) compares and contrasts descriptions of monolingual English dictionaries and English-Japanese Dictionaries ; (b) shows how the verb “rage” is used by consulting British National Corpus, Oxford English Dictionary on Compact Disc, COBUILD CD-ROM, and some informants ; (c) makes some suggestions for future revisions of English dictionaries for learners.

(Key words : rage, reflexive pronouns, English learner’s dictionary)

1. はじめに

1814 年に日本で最初の英語辞書である『暗厄利亜語林大成』が出来て以来、多数の英語辞書が作られ発展をしてきた。とりわけ、初期の英語学習辞典に関しては、イギリス最初の学習辞典とされるウェストの *The New Method English Dictionary*(1935) より早い 1929 年に、岡倉由三郎編『研究社新英和中辞典』と竹原常太郎編『スタンダード英和辞典』が出版されており、日本では世界に一步先んじて英語学習辞典の開発が行われていた¹⁾。その後も多くの新刊や改訂版が出版され、今では書店の棚にあふれんばかりの辞書が並んでいる。

近年は電子辞書が登場し、辞書の形態自体も大きく変化している。しかし、いくら形態が変化しようとも、変わらないのは辞書の記述内容の重要性である。コンピュータの発達・普及により、大規模なコンピュータ・コーパスの利用が可能となったため、その情報の新しさと正確さをめぐって辞書の間での競争はますます激化している。このような状況の中で、新語や新しい情報は積極的に辞書に取り入れられるが、その一方で古い情報がいつまでも残ったままになり、英語の実状を反映しない場合も少なくない。動詞 **rage** の記述もかなり以前に書かれた内容をあらためて調査・検討をすることなくそのままにされている例の 1 つではないかと考えられる。

本稿は、この動詞 **rage** に着目し、その語法を明らかにすると同時に、**rage** についての英語辞書の記述を比較分析し、その妥当性を検討する。さらに、辞書記述の変遷をたどりながら、辞書改訂作業における問題点を考察する。

2. 動詞 **rage** の用法

まず動詞 **rage** を英和辞典で調べてみると、表 1 のような記述になっている。自動詞の用法が主でその語義は、1 <人が>激怒する、怒る、暴れる、ののしる、2 <天候・波・海などが>荒れ狂う、<戦争・疫病・痛みなどが>激しくなる、猛威をふるう、3 <感情・議論などが>激する、4 <豪俗>楽しみを求める、の 4 つにまとめることができる。**rage** のあとに続く前置詞や副詞としては、**against, at, about, over, upon, on** が列挙されている。

他動詞の用法について項目をあげて記述しているのは、8 冊中 4 冊ある。その 4 冊ともに、**rage** のあとに **oneself** が続く再帰的な用法を示し、「嵐や人などが荒れたあとにおさまる、静まる」と説明をしている。さらに他動詞の項目をあげていない辞書もすべて **rage** の再帰代名詞用法については記述している。また、他動詞用法として直接話法をとることを記載しているものが 1 冊ある。

表 1. 英和辞典の記述

ジーニアス英和辞典 (3rd, 2001)	自) 1. <人が>激怒する, 暴れる, しかりとばす; [...に対して / のことで]激怒する (+on) [against, at/ over, about]. 2. ((正式))<悪天候・痛み・伝染病などが>荒れ狂う, 猛威をふるう The storm ~d for three hours. あらしは3時間も荒れ狂った/ The battle ~d. 戦いが激化した。3. (豪俗) 楽しみを求める 他) (文)[~oneself] <人・あらしなどが> (暴れた後で) 静まる(+out). [直接話法で]「…」と言ってしかりとばす
小学館ランダムハウス英和大辞典 (2nd, 1994)	v.i.) 1 <人が>ひどく怒る; 暴れる, 怒鳴り散らす, ののしる, 狂い回る; (人に) (...のことで) 激怒する((at, against, upon ...; for, over...)): ~against oneself 自分に対して無性に腹が立つ/ He ~d at his son for telling a lie. 彼は息子にうそをついたことでしかり飛ばした。2 殺到する; <風・水・海などが>荒れる; The flames ~d a few days. 炎は2, 3日間猛威を振るった。3 <戦争・疫病・痛みなどが>激しく続く, 猛威を振るう。4 <感情・意見などが>激する, 高潮に達する: The discussion on art was raging. 芸術論が激しく戦わされていた。5 ((俗))<服が>よく似合う; 流行の先端に行く v.t.) ((再帰的))<嵐・人などが>暴れた後に (...の状態に) なる((out)): The storm ~d itself out. 嵐は荒れ放題に荒れて治まった
スーパー・アンカー英和辞典 (2nd, 2001)	自) 1 (...に対して) 激怒する, 憤慨する (at, against, about) - He raged at me for the mistake. そのまちがいをしたといって彼は私に猛烈に怒った 2 <風波・激情・戦争・病気などが>荒れ狂う, 猛威をふるう - The sea raged 海はあれた / The battle raged for two days. 戦闘は2日間激しく続いた 他) (rage itself out) (あらしなどが)荒れ狂ったあとで静まる。
プログレッシブ英和中辞典 (3rd 1998)	自) <人が>ひどく怒る; 暴れる, どなり散らす, 狂いまわる; (人に) (...のことで) 激怒する((at, against, upon...; about, for, over...)) He ~d at his son for telling a lie. 彼は息子がうそをついたのでしかりとばした。2 あばれ回る, 猛進する, 殺到する, <風・水・海などが>荒れる, 激しく押し寄せる, <戦争・疫病・痛みなどが>激しく続く, 猛威をふるう A chicken pox epidemic is raging in our school. うちの学校では水ぼうそうが猛威をふるっている。3. <感情・意見などが>激する, 高潮に達する。 他) ((~oneself)) <あらし・人などが>あばれた後に静まる((out)) The storm ~d itself out. あらしは荒れ放題に荒れてからおさまった。
ユニコン英和辞典 (2002)	自 1 [...に／…のことで]激怒する[at, against/about]: She raged at herself. 彼女は自分自身に腹を立てた。2 (悪天候・病気などが) 荒れ狂う: The forest fire raged for a week. 山火事は1週間荒れ狂った。 ・ rage itself out (あらしなどが) 収まる

ラーナーズプログレッシブ英和辞典 (2nd, 1997)	自 1 (人に) (…のことで) 激怒する((at..., against..., over...)). rage against [at] a person 人をどなりつける / He raged at his son for telling a lie. 彼は息子をうそをついたことでしかりとばした. 2 <風・海などが>荒れる; <戦争・疫病・痛みなどが>激しく続く, 猛威を振るった. rage itself out <あらしなどが>荒れ狂っておさまる
リーダーズ英和辞典 (2nd, 1999)	vi) 1. <人が>激怒する, あばれまわる; 叱り飛ばす, ののしる <about, over, at, against >; <<豪口・ニュロ・米口>>底抜け騒ぎをする, 大いに浮かれ騒ぐ: He ~d (and fumed) against all of us. みんなにわめきちらした. 2. <あらし・疫病・火事・熱情などが>猛威をふるう; 高調に達する; 盛んである: Fever ~d through [in] the country. 熱病が国中で猛威をふるった. ~ itself out <あらしなどが>吹きやむ. ~through ...怒った感じですよばやく ...をする[目を通す].
新編英和活用大辞典 (1995)	v. 激怒する; 荒れ狂う, 猛威をふるう. <副詞 1> Cholera raged fiercely through the whole country. コレラが全国に猛威をふるった / The great Tooley street fire raged furiously for several weeks. トゥーリー街の大火は数週間猛威をふるった / I went to see him, raging inwardly. 内心腹を立てて彼に会いに行った / The fire is still raging. 火の勢いはまだ盛んだ. / For three days the storm raged unceasingly [unremittingly]. 3日間絶え間なく嵐が吹き荒れた. <副詞 2> He raged on about the needless expense of it all. そのこと全体についての不要な出費に怒り続けた / The hurricane raged itself out. ハリケーンが (荒れるだけ荒れて) ようやくおさまった. <+前置詞> rage against restraint 抑制に対して怒る / He raged at [against] her for her carelessness. 不注意だと言って彼女をしかりとばした rage at sb's dishonesty 人の不正直に激怒する / The fire raged out of control. その火事はとても消せなかった / Controversy continues to rage over the issue of abortion. 中絶の問題をめぐって論争は白熱して続いた / AIDS is raging throughout the country. エイズが国中にはびこっている / The storm raged with unabated fury. 嵐は猛威をゆるめず荒れ狂った. [類] A gale raged with extreme violence. raging with anger かと怒って. <+—self> The typhoon raged itself out. 台風は (荒れるだけ荒れて) ようやくおさまった.

表 2. 英米の辞書の記述

Cambridge International Dictionary of English (1995)	[I always+adv/prep] • He raged at (=spoke angrily to) us for forgetting to order a replacement. • To rage is also to happen in strong or violent way: The storm raged outside/raged around us. • A flu epidemic is raging in / through local schools. • The argument rages on (=continues strongly). *raging (adj)
COBUILD English Dictionary for Advanced Learners (3 rd , 2001)	2. You say that something powerful or unpleasant rages when it continues with great force or violence. • Train services were halted as the fire raged for more than four hours....the fierce arguments raging over the future of the Holy City...The war rages on and the time has come to take side. 3 If you rage about something, you speak or think very angrily about it. • Monroe was on the phone, raging about her mistreatment by the brothers...Inside, Frannie was raging... 'I can't see it's any of your business,' he raged.
Longman advanced American Dictionary (2000)	(I) 1. if something rages, such as a battle, disagreement, or storm, it continues with great violence or strong emotions: A debate still rages on bilingual education in public schools. Outside, a thunderstorm was raging and the lights flickered. 2. LITERARY to feel very angry about something and show this in the way you behave or speak: [at/about/against] For twenty years, Evans raged against minority injustices.
Longman Dictionary of Contemporary English (3 rd , 1995)	[I] 1 if something rages, such as a battle, disagreement, or storm, it continues with great violence or strong emotions: Controversy over the scandal is still raging. Outside a great storm was raging. 2 [+at/ about / against] to feel very angry about something and show this in the way you behave or speak: Margo raged against the unfairness of the situation.
The New Oxford American Dictionary (2001)	[intrans.] feel or express violent uncontrollable anger: he raged at the futility of it all [with direct speech] "That's unfair!" Maggie raged. [with adverbial] (of a natural agency or a conflict) continue violently or with great force: the argument raged for days. • [with adverbial of direction] (of an illness) spread very rapidly or uncontrollably: the great cholera epidemic that raged across Europe in 1831. • (of an emotion) have or reach a high degree of intensity: she couldn't hide the fear that raged within her.
New Oxford Dictionary of English (1998)	[no obj] 1 feel or express violent uncontrollable anger: he raged at the futility of it all [with direct speech] "That's unfair!" Maggie raged. [with adverbial] (of a natural agency or a conflict) continue violently or with great force: the argument raged for days. [with adverbial of direction] (of an illness) spread very rapidly or uncontrollably: the great cholera epidemic that raged across Europe in 1831. • (of an emotion) have or reach a high degree of intensity: she couldn't hide the fear that raged within her.] 2 Austral./NZ informal go out and enjoy oneself socially: get ready to rage!

Oxford Advanced Learner's Dictionary (6th, 2000)	1 ~ (at/ against/ about sb/sth) to show that you are very angry about sth or with sb, especially by shouting: [v] He raged against the injustice of it all. • [V speech] 'That's unfair!' she raged. 2 [v] ~(on) (of a storm, battle, argument, etc.) to continue in a violent way: The riots raged for three days. • The blizzard was still raging outside. 3 [v, usually + adv./ prep.](of an illness, a fire,, etc) to spread very quickly: Forest fires were raging out of control. • A flu epidemic raged through Europe.
Random House Webster's Dictionary of American English (1997)	[no obj] 4. to act or speak with fury; show or feel violent anger. 5. to move or surge furiously: He raged around the room.

では、英米の辞書の記述はどうなっているだろうか。表2が主な辞書の記述であるが、語義としては、英和辞典とほぼ同じ内容となっている。rageのあとに続く前置詞や副詞についても違いは見られない。英和辞典との違いは、英米の辞書はどれも自動詞の用法のみをあげており、他動詞用法の項目を記載しているものは一冊もない。また、rage oneself やrage itself out といった表現についての記載も一切見られない。一方、rage が伝達動詞のように、rage のあとに直接話法をとることを記載している辞書が3冊ある。

こうした辞書記述の違いをふまえて、動詞rageの用法を明らかにするために、British National Corpus (BNC)とCD-ROM版のCOBUILD, Oxford English Dictionary2-CD (OED²)を用いて用例を調べてみた。その結果をまとめたものが、表3である。

表3. 動詞 Rage の用例調査結果

		OED ² 用例 数	BNC 用例 数	COBUILD 用例数	用例 総 数
自動 詞 用 法	+ against	7	1		8
	at	1	3	3	7
	on	1	1	2	4
	over	1	1	1	3
	about	1	2		3

	その他	77	61	21	159
rage + 直接話法			7	1	8
rage + NP				1	1
rage + 再帰代名詞		1			1
用例総数		89	76	29	194

OED², BNC, COBUILD に共通して見られる傾向は、直接目的語をとらない自動詞用法が約8割を占め、動詞に続く前置詞として against, at, over, about, 副詞としては on が多いということである。他動詞的な用法は極めて少数で、目的語をとる形は用例(8)の名詞をとる場合と用例(9)の再帰代名詞をとる場合の2例のみである。ただし、この再帰代名詞をとる用例は1831年のもので1900年代には用例は見当たらない。また、用例(7)のように直接話法をとる用例があり、とくに BNC に多く見られる。

<rage のみ>

(1) That is to say, I may have appeared calm, but inside anxiety raged. (BNC)

<rage + against>

(2) But MacNeice has tried mentalism and so raged against it that he nearly knocked his brains out with rhyme. (OED)

<rage + at>

- (3) Dad must have raged at everyone to find it,
but he never thought to ask me.

(BNC)

<rage + on>

- (4) Championship rivals Real Madrid,
Barcelona and La Coruna have been
summoned to peace talks after disputes
between the clubs have raged on all season.
(COBUILD)

<rage + over>

- (5) Arguments raged, in particular, over the
future of Poland, the first major state which the
Red Army entered. (BNC)

<rage + about>

- (6) There was also controversy raging about
their attempt to rewrite the account of the
fall of Chiang's former capital, usually
referred to as 'the rape of Nan king.'

(BNC)

<rage + 直接話法>

- (7) 'Gotch!' yer prancin' pollywog,' he raged
pushing Tony head first in the dish of
pulsating pasta. (BNC)

<rage + NP>

- (8) Taking up their pen in the Old White Bear
Inn, Barnsley, the Miners' Association
union chairman and secretary raged
defiance.
(COBUILD)

<rage + 再帰代名詞>

- (9) The hot Harmattan wind had raged itself
out. (OED, 1831)

BNC や OED², COBUILD に見られる用例の
調査結果が、すぐそのまま英語の使用状況にあた
ると見なすことはできないが、BNC は書き言葉
9,000 万語と話し言葉 1,000 万語で合計 1 億語の
コーパスである²ことを考えると、これらの調査

結果が英語の実態を部分的にせよ表していること
は確かである。そこで、この結果を辞書の記述と
照らし合わせ、その記述が妥当であるかを考察し
ていきたい。

3. 英語辞書の記述

前述の調査では、動詞 **rage** は直接目的語をと
らない自動詞用法が約 8 割を占め、残り 2 割が他
動詞用法となる。しかし、この他動詞用法の中
には、名詞や再帰代名詞を目的語としてとる用例は
合計 2 例だけで、あとは直接話法の引用部が続く
用例ばかりである。しかも再帰代名詞をとる用例
は 1831 年のものであることから、近年 **rage** が再
帰代名詞をとる用法はまれになっていると考えら
れる。さらに、直接話法の引用部が続く用例につ
いても、引用部分は果たして **rage** の目的語にあ
たるのかという問題がある。仮に引用部分がな
くても、**he raged**. だけで文が成り立つことなどか
ら、この用例中の **rage** は自動詞性が強いのでは
ないかと推測される。以上のことから、**rage** は基
本的に自動詞用法が主体と考えてよいと思われる。

ここで辞書の記述をふりかえってみると、英和
辞典も英米の辞書も自動詞の用法を主として記述
しているので、この点に関しては用例の調査結果
と一致している。辞書間で記述にばらつきがあり、
とりわけ英和辞典と英米の辞書の間で異なってい
るのは、直接話法をとる用法と、再帰代名詞をと
る用法の記述である。まず、直接話法をとる用法
については、BNC と COBUILD に計 8 例の用例が
見られることから、記述されるべきであろうと考
える。ただし、これをジーニアス英和辞典のよう
に他動詞項目にいれるか、*The New Oxford*
American Dictionary のように自動詞の項目と
は別に分類しながらも、[transitive (他動詞)]
の項目をつくらずに、[with direct speech (直接
話法とともに)]として記述するかは、辞書編集者
の方針によって異なってくるだろう。

次に再帰代名詞をとる用例について見てみたい。
今回利用した OED2-CD の全用例数は約 243 万
で、500 年頃から 1988 年までの用例が集められ
ている³。表 3 は 1800 年から 1988 年の間に限定
して検索を行ったが、全年代で検索を行った場合
でも **rage** が再帰代名詞を目的語としてとる用例
は 2 例のみで、しかもその両方が 1830 年代の用

例である。BNC は 1975 年以降のイギリス英語を集めたコーパスでだが、再帰代名詞をとる用例は 1 例もみつからなかった。これらのことより、**rage** が再帰代名詞を目的語としてとる形は、現在ではほとんど使われないと推測される。この点を確かめるために、ネイティブスピーカーを対象に以下の要領でインフォーマント調査を行った。

英和辞典で用例として用いられている “**The storm raged itself out.**” という文についてどう考えるかをアメリカ人 4 人に、以下の 7 つから選んでもらった。表 4 がその結果である。

- a. **This sentence sounds all right and you would also use it.** (これは自然な表現で、自分自身も使う)
- b. **This sentence sounds all right, but you would not use it.** (これは自然な表現だが、自分自身は使わない)
- c. **This sentence doesn't sound right and you would not use it.** (これは、不自然な表現で、自分自身も使わない)
- d. **This sentence sounds old-fashioned, but you would use it.** (これは古い表現だが、自分自身は使う)
- e. **This sentence sounds old-fashioned and you would not use it.** (これは古い表現で、自分自身も使わない)
- f. **You have never heard this kind of usage of “rage”.** (この表現を耳にしたことがない)
- g. Others.

表 4 インフォーマント調査結果

インフォーマント	年齢	回答	コメント
A	20 代	c, f, g	この文は不自然だが、詩的な響きがある。フィクション作品を書くならこの表現を使うかもしれないが、話し言葉としては使わないだろう。
B	30 代	b	

C	40 代	b, e	b と c が半々ぐらいに思う。書き言葉としては使うことも可能だが、話し言葉としては使わない
D	50 代	a, f	rage を使ったこの表現を耳にしたことはないが、他の単語をつかった別のよく似た表現なら聞いたことがある。詩的な表現にきこえる。

調査結果をまとめると、“**The storm raged itself out.**” という表現は、英語として間違った表現ではなく、詩など文学作品の書き言葉としては使えるものだが、日常の話し言葉としては使われないということである。この調査はインフォーマントの数が少なく、アメリカ人だけを対象としているため、その結果をすぐに一般論として扱えないが、BNC などの用例検索結果と合わせて考えると、**rage** が再帰代名詞をとる形は書き言葉として使うことは可能でも、現在では一般的によく使われる表現ではないことがわかる。

ところが、英和辞典はどの辞典も「**rage itself out** <あらしなどが>荒れ狂っておさまる」などの記述がある。この記述が誤りであるとは言えないが、このままではこの表現は現在も普通に使われていると英語学習者に誤解を与えてしまう可能性が高い。そこで、この用法について記述するのであれば、((文語)), ((書き言葉)), ((まれ))などの情報を必ずつけ加える必要があると思われる。

そもそこの **rage** が再帰代名詞をとる形について今でも多くの英和辞典に記述があるのはなぜだろうか。単に昔の古い記述が残ったままになっているという例は珍しくないが、**rage** についてはそれだけの理由ではなさそうである。たとえば、研究社の『新英和活用大辞典』は、1958 年版には動詞 **rage** の項目に再帰代名詞をとる用例の記述はないが、1995 年に出た改訂版の『新編英和活用大辞典』には、「<+ -self> **The typhoon raged itself out.** 台風は（荒れるだけ荒れて）ようやくおさまった」という記述がある。つまり古い版にはなかったものが、新しい版で追加されているのである。また、『ランダムハウス英和大辞典第二版』では、そのベースになる *Random House Dictionary of the English Language* には動詞

rage が再帰代名詞をとる形は見当たらないにもかかわらず、日本語版には表 1 のとおり記載されているのである。日本語版のまえがき部分には、英語版を「基本としながらも、同辞典に不足していたり、不備な部分をできる限り補い、日本人利用者に不十分と思われる点については、思い切って独自の改良を加える」と改訂作業の方針が説明されている。つまり、動詞 **rage** が再帰代名詞をとる用法は日本人学習者にとって大切だという判断があって付け加えられたと考えられるのである。では、そのような判断はどこからきたのだろうか。また、ほとんどの英和辞典が同じように記述するのはなぜなのだろうか。こういった疑問を明らかにするために、動詞 **rage** の記述の変遷を見てみることにする。

4. 動詞 **rage** の記述の変遷

わが国初の今日的な意味での英語辞書と呼ばれる『英和對譯袖珍辞書』が作られた 19 世紀後半以降の辞書に、動詞 **rage** で再帰代名詞をとる用法についての記述があるかどうかを調べてみた。

『英和對譯袖珍辞書』(1867)、『和英語林集成』(1886)、『ウェブスター氏新刊大辞書和譯字彙』(1888)、『模範英和辞典』(1911)、『詳解英和辞典』(1912)、『井上英和大辞典』(1915)、藤岡勝二編『大英和辞典』(1921) には **rage** に関する記述があったとしても再帰代名詞をとる用法についての記述は見られなかった。同様の時期に再帰代名詞に関する記述があるのは、斎藤秀三郎編『熟語本位英和中辞典』(1915)、『携帯英和辞典』(1922)、岡倉由三郎編『研究社新英和大辞典』(1927)、『三省堂英和大辞典』(1928) である。

英米の辞書では、ジョンソンの『簡約英語辞典』(1756)、ウェブスターの『アメリカ語辞典』(1828)、*Century Dictionary Cyclopaedia and Atlas* (1903) には、動詞 **rage** が再帰代名詞をとる用法について記述がないが、*The Oxford English Dictionary*(1933)は、再帰的用法として「荒れてある状態になる」と説明し、1831 年と 1839 年の用例を記載している。また、OED の簡略版として編集された COD (*The Concise Oxford Dictionary of Current English*) の動詞 **rage** に関する記述は表 5 のとおりである。初版から第 5 版までは、ずっと動詞 **rage** が再帰代名詞をと

る用法について記述があり、「嵐などを主語として、～itself out で、荒れるのがおさまる」と説明をしている。この COD を斎藤秀三郎も岡倉由三郎も辞書を編集する際には参考したといわれ⁴、実際、COD と斎藤秀三郎の『熟語本位英和中辞典』の **rage** の記述は大変似ている。このことから、動詞 **rage** が再帰代名詞をとる用法についての記述は、OED や COD から発していると考えられる。そして、多くの英和辞典は OED や COD などの英米の辞書だけでなく、『熟語本位英和中辞典』から多大な影響を受けてきたとされる⁵ことから、**rage** の再帰代名詞の用法は多くの英和辞典に取り入れられていったと推測される。

さらに COD は第 6 版 (1976 年) 以降、再帰代名詞の用法が削除されているが、ホーンビーが日本で出版した本格的な学習英英辞典である *Idiomatic and Syntactic English Dictionary* と後の *Advanced Learner's Dictionary of Current English*, *Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English* は、1989 年に出た第 4 版まで再帰代名詞について記載していることも、多くの英和辞典に記載が残っている要因のひとつと考えられる。

5. まとめ

日々変化する言語の実態を正確に記述するのは至難の業ではあるが、辞書編集にあたっては、新語や新しい情報だけに気をとられず、これまであたりまえと考えられていた古い情報についても、丁寧に確かめていくという姿勢が重要である。八木 (2001) が指摘するように、古くなって日常会話では使われなくなった表現をただ削除すればよいというのではなく、辞書に((古語))や((まれ))などのきめ細かい情報を記載していくべきであろう。コンピュータの発達でコーパスなどが利用しやすくなった分、このような地道な作業が一層求められることになるだろう。

表 5. *The Concise Oxford Dictionary of Current English* の記述

The Concise Oxford Dictionary of Current English 1 st , 1911	Vi & refl Rave, storm, speak madly or furiously, (at, against, or abs.) be full of anger; (of wind, sea, passion, feeling , battle, pain, disease, b.c.) be violent, be at the height, operate unchecked, prevail, be violent, whence ragingLY adv.; (refl, esp. of storm b.c) r. itself out, cease raging
2 nd , 1929	第 1 版と同じ
3 rd , 1934	第 1 版と同じ
4 th , 1951	Vi & refl Rave, storm, speak madly or furiously, (at, against, or abs.) be full of anger; (of wind, sea, passion, feeling , battle, pain, disease, etc.) be violent, be at the height, operate unchecked, prevail, be violent, whence ragingLY adv.; (refl, esp. of storm etc) ~itself out, cease raging
5 th , 1964	第 4 版と同じ
6 th , 1976	v.i. Rave, storm, speak madly or furiously, (at, against, or abs.), be full of anger; (of wind, sea, passion, felling, battle, pain, disease, etc.) be violent, be at its height, operate unchecked, prevail
7 th , 1982	第 6 版と同じ
8 th , 1990	第 6 版と同じ
9 th , 1995	v.intr 1. be full of anger 2 (often foll. by at, against) speak furiously or madly; rave 3 a (of wind, battle, fever, etc.) be violent; be at its height; continue unchecked b (as raging adj) extreme, very painful (raging thirst; a raging headache) Australia & NZ colloq. Seek enjoyment; have a good time; revel
10 th , 1999	1 feel or express rage > continue violently or with great force 2 Austral & N.Z informal enjoy oneself socially

注：

1. 小島義郎. 1999. 『英語辞書の変遷：英・米・日本を併せ見て』 研究社. p.454.
2. 斎藤俊夫、中村純作、赤野一郎編. 1998. 『英語コーパス言語学』 研究社. p.10.
3. 同上. pp.226~227.
4. 八木克正. 2001. 「英語辞書学序説」『言語と文化』第 4 号. p13.

< 辞書 >

市川繁治郎. 1995. 『新編英和活用大辞典』 研究社.
 入江祝衛. 1912. 『詳解英和辞典 (復刻版 1985)』 名著普及会.
 岩崎民平・河村重治郎. 1953. 『新英和大辞典 (3 版)』 研究社.
 ——1960. 『新英和大辞典 (4 版)』 研究社.
 岡倉由三郎. 1927. 『新英和大辞典』 研究社.
 ——1936. 『新英和大辞典 (2 版)』 研究社.
 勝俣銓吉郎. 1911. 『英和活用大辞典』 研究社.
 ——1954. 『新英和大辞典 (3 版)』 研究社.
 ——1958. 『英和活用大辞典 (2 版)』 研究社.

神田乃武・横井時敬他. 1902. 『新譯英和辞典』 三省堂.

——1919. 『模範新英和大辞典』 三省堂.

木原研三. 2000. 『グランドセンチュリー英和辞典』 三省堂.

国広哲弥他. 1998. 『小学館プログレッシブ英和中辞典 第 3 版』 小学館.

小西友七・南出康世. 2001. 『ジーニアス英和辞典第 3 版』 大修館書店.

小西友七・安井稔他. 1997. 『ラーナーズプログレッシブ英和辞典第 2 版』 小学館.

斎藤秀三郎. 1915. 『熟語本位英和中辞典』 正則英語学校出版部.

——1922. 『携帯英和辞典』 日英社.

末永國明他. 2002. 『ユニコン英和辞典』 文英堂.

竹林滋・小島義郎. 1990. 『ライトハウス英和辞典第 2 版.』 研究社.

堀達之助他. 1862. 『英和對譯袖珍辞書』 雄松堂フィルム・ライブラリー.

松田徳一郎. 1999. 『リーダーズ英和辞典第 2 版』 研究社.

- 本木正栄他. 1814. 『語厄利垂語林大成』(復刻版) 大修館.
- 山岸勝栄. 2001. 『スーパー・アンカー英和辞典第2版』. 学習研究社
- Allen, R.E. 1990. *The Concise Oxford Dictionary of Current English* (Eighth Edition). Oxford University Press.
- Calgish, D.M. 1997. *Webster's Dictionary of American English*. Random House.
- Fowler, H.W., and Fowler, F.G.(eds.) .1911, *The Concise Oxford Dictionary of Current English* (First Edition). Clarendon Press.
- and Le Mesurier, H.G.(eds.). 1934, *The Concise Oxford Dictionary of Current English* (Third Edition). Clarendon Press.
- revised by McIntosh, E. 1951. *The Concise Oxford Dictionary of Current English* (Forth Edition). Clarendon Press.
- revised by McIntosh, E. 1964. *The Concise Oxford Dictionary of Current English* (Fifth Edition). Clarendon Press.
- Hornby, AS. and Gatenby E.V., Wakefield A.H. 1942. *Idiomatic and Syntactic English*. Institute for Research in Language Teaching, Department of Education.
- 1963. *The Advanced Learner's Dictionary of Current English*. Kaitakusha.
- with the assistance of Cowie A.P., Windsor J, Lewis. 1974. *Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English*. 3rd ed. Oxford University Press.
- with Cowie, A.P. 1989. *Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English*. 4th ed. Oxford University Press.
- with Crowther, J. 1995. *Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English*. 5th ed. Oxford University Press.
- with Wehmeier, S. 2000. . *Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English*, 6th ed. Oxford University Press.
- Johnson, S. 1755. *A Dictionary of the English Language*. (1983) Yushodo.
- Jewell, E.J. and Abate, F.(eds.) 2001. *The New Oxford American Dictionary* Oxford University Press.
- Pearsall, J. 1998. *The New Oxford Dictionary of English*. Oxford University Press.
- 1999. *The Concise Oxford Dictionary of Current English* (Tenth Edition). Oxford University Press.
- Procter, P. 1995. *Cambridge International Dictionary of English*. Cambridge University Press.
- Sinclair, J. 2001. *Collins COBUILD English Dictionary for Advanced Learners*. 3rd ed. HarperCollins.
- Summers, D. 1995. *Longman Dictionary of Contemporary English*, 3rd ed. Longman.
- 2000. *Longman Advanced American Dictionary* Longman.
- Sykes, J.B. (eds.) 1976. *The Concise Oxford Dictionary of Current English* (Sixth Edition). Clarendon Press.
- 1982. *The Concise Oxford Dictionary of Current English* (Seventh Edition). Clarendon Press.
- Thomson, D. 1995. *The Concise Oxford Dictionary of Current English* (Nineth Edition). Oxford University Press.
- Collins COBUILD on CD-ROM*. HarperCollins. 1995.
- The Oxford English Dictionary (Second edition) on Compact Disc*. Oxford University Press. 1995.

(平成14年 9 月30日 受理)

日本語の特徴を利用した固定長符号化法の検討

平 尾 友 一*

A Consideration of a Fixed Length Coding Method Utilizing Characteristics of Japanese

Yuuiti HIRAO

A writer is entropy to Japanese character data [[2 which performed information theory-analysis in quest of 1] etc., and next used the feature and which was data compression method per considered]. It is the Asahi Shimbun (Asahi Shimbun Publishing) “TenseiJingo” considered to be comparatively typical as a Japanese sentence”. Period : Inside of August 5, Heisei 10 to 8 [August], Heisei 14 Days : Part on the 1,338 th The total number of characters : 970,846 characters (the Japanese syllabary, Chinese character, etc.) File Size : 1,993,374 [Bytes] was used. In this report, the data compression was tried using the fixed length coding method, and the trial calculation of the rate of a data compression was made.

I considered a

To obtain statistical data, I analyzed the “TENSEI JINGO” of the Asahi Shimbun (The Asahi Shimbun Company) of 1,292 days as a typical Japanese text data which I thought.

(Key words : Japanese Text, Data Compression)

1.まえがき

筆者は日本語の文字データに対し、エントロピ [1]を求めるなどの情報理論的な解析を行い、次にその特徴を利用したデータ圧縮法につき考察した[2]。日本語の文としては比較的典型的と思われる朝日新聞(朝日新聞社)「天声人語」

期間:平成10年8月5日～平成14年8月8日の内

日数:1,338日分

総文字数:970,846文字(仮名、漢字など)

File Size:1,993,374[Bytes]

を用いた。

本報告では、固定長符号化法を用いたものとしてデータ圧縮率 R の最小値(推定値)を試算した。符号語長 n_c は15～22[bits]の中のものとし、それぞれの場合のデータ圧縮率 R を比較した。符号化、復号化の際使用する符号化辞書には、朝日新聞「天声人語」(1,338日分)の解析結果より出現頻度 f_a 、確率 p_a の高い記号から順番に登録するようにした。

2.解析方法

Shannonの情報理論[3][4]によれば情報源の情報理論的性質が既知であれば出現頻度 f_a 、確率 p_a の大きい情報源記号(文字)に短い通信路記号(文字)を、出現頻度 f_a 、確率 p_a の小さい情報源記号に長い通信路記号を割り当てることにより情報源デー

タの圧縮符号化が行える。これにより効率よくデータの蓄積、伝送が行え、かかる費用を少なくすることができる[5]。このことは圧縮符号化では通信路記号の長さが常に変化し、データの送信(符号化、圧縮)側と受信(復号化、伸長)側とで通信路記号長が常に一致していなくてはならないことを意味する。この条件を満たし、一意に復号化可能であることと、更に瞬時に復号化可能である事を可能としたものとして、例えばEliasの γ 符号、 δ 符号などがある[6]。

なお、以下本文では上記情報源記号を単に「記号」、上記通信路記号を「符号語」ということとする。

2.1記号(文字)の出現頻度、エントロピ

朝日新聞「天声人語」1,338日分、総文字数970,846文字、File Size 1,993,374[Bytes]を用いて記号の出現頻度 f_a 、確率 p_a を求めるなど、日本語の情報理論的解析を行った。この作業は文献[2]の内容と同じであるが、解析データ量を増やしデータの精度を向上させている。記号は8[bits]区切りとし、マルコフ過程(以下M.P.という)0～3次までの解析とした。

2.2最頻ビット・パターン置換固定長符号化

本報告で考察した最頻ビット・パターン置換固定

長符号化法について以下に記す。この符号化法は符号語長 n_c を固定とし、すなわち総符号語(アルファベット)数 $N_c = 2^{n_c}$ 個の符号空間となる。その符号空間に2.1にて求めた出現頻度 f_a 、確率 p_a の大きい記号から順番に記号を割り当てていく。その際、記号長 n_s の値が

$$n_s = 16 \text{ [bits]} \text{ (M.P.1)}$$

$$n_s = 24 \text{ [bits]} \text{ (M.P.2)}$$

$$n_s = 32 \text{ [bits]} \text{ (M.P.3)}$$

の記号をそれぞれ出現頻度 f_a 、確率 p_a 第何位まで記号長 n_s (M.P.の次数)ごとの符号化辞書に登録するかを式(3)にて定義するデータ圧縮率 R を最小にするという条件から求める。データ圧縮率 R 最小の条件は上記記号長 n_s (M.P.の次数)ごとの符号化辞書登録記号数 $n_1, n_2, (n_3)$ から式(1)により削減bits数 b_r の最大値 b_{rmax} を推定し、決定する。

$$b_r(n_1, n_2) = (16 - n_c) \sum_{i=1}^{n_1} f_{a1i} + (24 - n_c) \sum_{i=1}^{n_2} f_{a2i} + (32 - n_c) \sum_{i=1}^{\min(N_c - n_1 - n_2, N_{as3})} f_{a3i}$$

$$b_r(n_2) = (24 - n_c) \sum_{i=1}^{n_2} f_{a2i} + (32 - n_c) \sum_{i=1}^{\min(N_c - n_2, N_{as3})} f_{a3i}$$

$$(n_c \leq 14) \text{ (1a)}$$

$$(n_c > 14) \text{ (1b)}$$

ただし b_r : 削減ビット数 [bits]

n_c : 符号語長 [bits]

n_1 : 符号化辞書登録記号数(M.P.1)

n_2 : 符号化辞書登録記号数(M.P.2)

f_{a1i} : 出現確率 p_a 第 i 位の記号出現頻度 (M.P.1)

f_{a2i} : 出現確率 p_a 第 i 位の記号出現頻度 (M.P.2)

f_{a3i} : 出現確率 p_a 第 i 位の記号出現頻度 (M.P.3)

$N_{as3} = 250,106$: 出現記号数 (M.P.3)

$N_c = 2^{n_c}$: 総符号語数(符号空間)

$\min(a, b)$ は a, b の小さい方の値。

ただし、実際にこの解析に用いた朝日新聞「天声人語」(1,338日分)のファイルを符号化すると b_r [bits]削減されるという事ではなく、あくまでも目安の値である。なぜならば実際の符号化時には符号化しようとするファイルの最初から、その時々においてデータ圧縮率 R がより小さくなるように

記号長 n_s を選ぶためである。2.1の解析においては解析(被符号化)ファイルの最初から最後まで記号長 n_s を常に一定にして、記号出現頻度 f_a 、確率 p_a を求めている。また、本報告では簡単のため、符号化辞書はまずM.P.2,3の2個のみとした。したがって式(1b)のみを用い、削減bits数 b_r は1変数 n_2 のみの関数となる。

ここで気を付けるべきことは表1.,2.からわかるように、符号語長 $n_c \leq 18$ の場合、その総符号語数(符号空間) $N_c = 2^{n_c}$ の中に全ての朝日新聞「天声人語」(1,338日分)の出現記号 $N_{as2} + N_{as3}$ 個(本報告では符号化辞書はMP.2,3のみを使用することとした)が入り切らないということである。そのため、式(2)を用いて補正を行った。すなわち符号化辞書に登録されていない記号が現れた場合の特別な符号語を1個用意しておき、復号化時にその符号語が現れた場合、その後のもう1符号語を用いて復号化するということを想定している。その際には符号語長が $2n_c$ 必要となる(3.3図6.参照)。

$$b'_r = b_r - 2n_c(N_{as1} - n_1 + N_{as2} - n_2 + N_{as3} - n_3) \quad (2)$$

ただし b'_r : 削減bits数[bits]

(符号化辞書登録不可記号数を考慮した)

b_r : 削減bits数[bits]

(符号化辞書登録不可記号数を考慮しない)

n_c : 符号語長[bits]

n_1 : 符号化辞書登録記号数(M.P.1)

n_2 : 符号化辞書登録記号数(M.P.2)

n_3 : 符号化辞書登録記号数(M.P.3)

$N_{as1} = 6,830$: 出現記号数(M.P.1)

$N_{as2} = 89,213$: 出現記号数(M.P.2)

$N_{as3} = 250,106$: 出現記号数(M.P.3)

本報告では符号化辞書M.P.2,3のみを用いた。

2.3データ圧縮率

本報告で試行する最頻ビット・パターン置換固定長符号化法を用いたとし、日本語文字データとして朝日新聞「天声人語」(1,338日分)の最小と考えられるデータ圧縮率 R を試算した。本報告ではデータ圧縮率 R を式(3)で定義する。

$$R = \frac{\text{データ圧縮後のデータ・ビット数}}{\text{データ圧縮前のデータ・ビット数}} \times 100 \quad [\%] \quad (3)$$

符号語長 $n_c = 15 \sim 22$ [bits]とした場合のデータ圧縮率 R の最小と思われる値を試算した。

3.解析結果

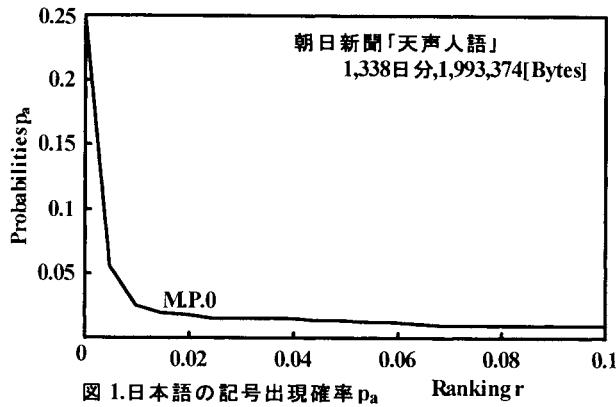
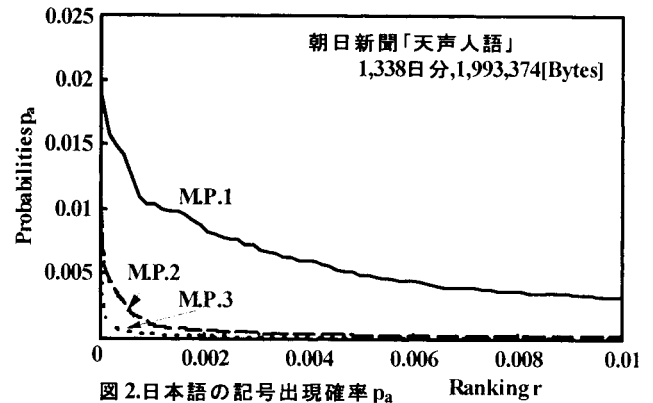
図 1.日本語の記号出現確率 p_a Ranking r 図 2.日本語の記号出現確率 p_a Ranking r

表1.朝日新聞「天声人語」中記号出現数 N_{as}
 総文字数:970,846文字 File, Size:1,993,374[Bytes]

M.P.	0	1	2	3
連続bits数 (=記号長 n_s)	8	16	24	32
総記号数 $N_s = 2^{n_s}$	256	65,536	約 16,777 $\times 10^3$	約 4,294 $\times 10^6$
出現 記号数 N_{as}	203	6,830	89,213	250,106
エントロピ H [bits/Symbol]	5.78	3.91	2.91	2.33

3.1 記号(文字)の出現頻度、エントロピ

朝日新聞「天声人語」(1,338日分)の記号出現確率 p_a を求めたものを図1,2.に示す。記号は8[bits]区切り、M.P.の次数は0~3の4種類の場合について求めた。この時、記号長 $n_s=8,16,24,32$ [bits]に対応する。解析データはShift-JISコード・データを用いた。解析データ中には8[bits]の制御コードなどが非同期に含まれている。例えば、「天声人語」1日分、1記事の最初に半角数字の日付、数10文字置きに空白文字(半角)、改行コード(02H, 0DH, 0AH;"H"は16進数を表わす)などが挿入されている。図1,2.では記号出現確率 p_a の大きい順番に並べた。したがって横軸は記号出現確率順位 r であるが、1個以上出現した記号数(出現記号数) N_{as} を1とし規格化してある。図1.に対し図2.のスケールは縦軸、横軸ともに10倍となっている。記号出現確率順位 r の値が0に、すなわち縦軸に近い程記号出現確率 p_a が大きいこととなるが、全M.P.の次数について記号出現確率 p_a が縦軸側に大きく偏っていることがわかる。

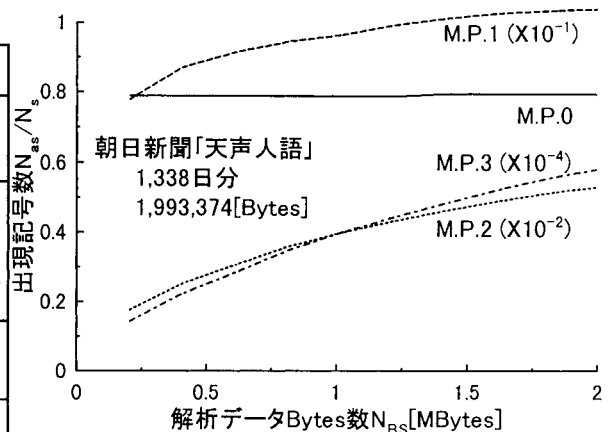
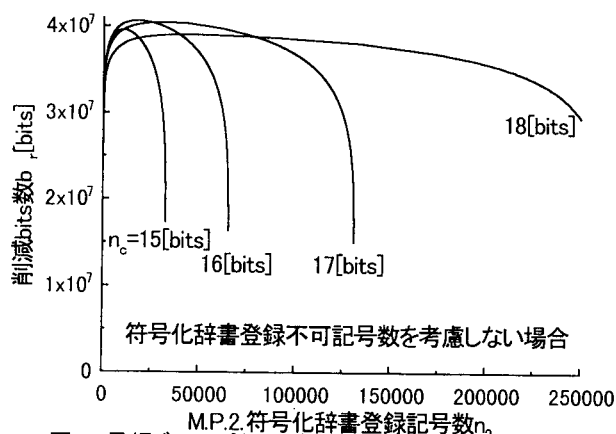
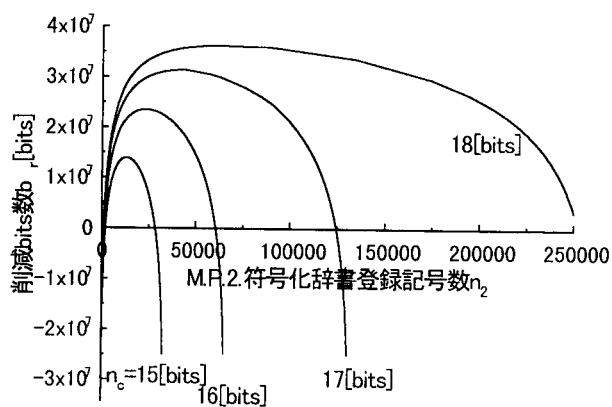
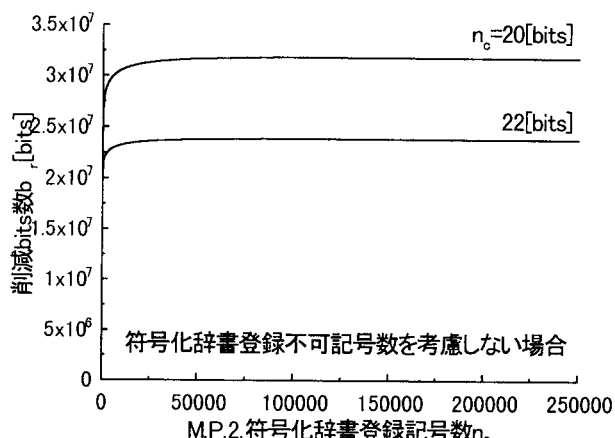
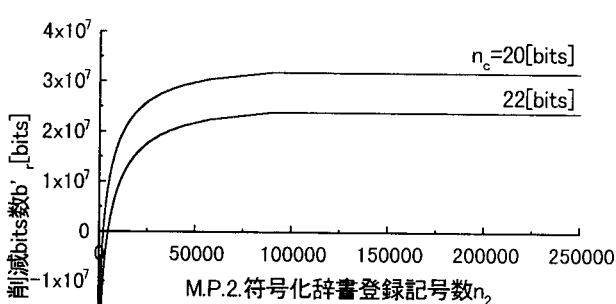
図 3.解析データBytes数 N_{BS} に対する出現記号数 N_{as}/N_s

表1.にM.P.0~3次における朝日新聞「天声人語」(1,338日分)におけるエントロピ H 、出現記号数 N_{as} を示す。M.P.の次数が大きくなるに従い、エントロピ H は小さくなっているが、それを裏付けるように記号空間の大きさ、すなわちM.P.の次数に対応する連続bits数すなわち記号長 n_s から取り得る総記号数 $N_s = 2^{n_s}$ と、実際に朝日新聞「天声人語」(1,338日分)中に現れた記号数 N_{as} との差が大きくなっている。図3.は解析データBytes数 N_{BS} に対する規格化した出現記号数 N_{as}/N_s の変化を表している。横軸は朝日新聞「天声人語」(1,338日分、1,993,374[Bytes])のデータ・ファイル先頭からのBytes数 N_{BS} である。縦軸は総記号数 N_s で除し規格化した出現記号数 N_{as} である。最終的に本解析データ・ファイルのBytes数1,993,374[Bytes]に至るまでに、規格化出現記号数 N_{as}/N_s は、M.P.0($n_s=8$ [bits])においては飽和しているが、M.P.1~3($n_s=16 \sim 32$ [bits])においては飽和していず、まだ増える予測される。

3.2 最頻ビット・パターン置換固定長符号化

図4a,4bにM.P.2符号化辞書登録記号数 n_2 に対す

図 4a. 最頻ビット・パターン置換固定長符号化法による削減bits数 b_r 図 5a. 最頻ビット・パターン置換固定長符号化法による削減bits数 b_r 図 4b. 最頻ビット・パターン置換固定長符号化法による削減bits数 b_r 図 5b. 最頻ビット・パターン置換固定長符号化法による削減bits数 b_r 表2. 符号語長 n_c と符号化辞書登録記号数 n_2, n_3 、削減bits数

解析ファイル: 朝日新聞「天声人語」

総文字数: 970,846, File Size: 1,993,374 [Bytes]

符号語長 n_c [bits]	総 符号語数 $N_c = 2^{n_c}$	符号化辞書登録 記号数		符号化辞書登録 不可 記号数		削減bits数 最大値 b_{rmax} [bits]
		n_2 記号長 n_s 24 [bits] (M.P.2.)	n_3 記号長 n_s 32 [bits] (M.P.3.)	記号長 n_s 24 [bits] (M.P.2.)	記号長 n_s 32 [bits] (M.P.3.)	
15	32,768	13,067	19,700	76,146	230,406	13,957,521
16	65,536	22,766	42,769	66,447	207,337	23,590,536
17	131,072	43,146	87,925	46,067	162,181	31,474,416
18	262,144	56,910	205,234	32,303	44,872	36,267,066
20	1,048,576	89,213	250,106	0	0	31,893,920
22	4,194,304	89,213	250,106	0	0	23,920,440

る削減bits数 b_r の変化の様子を示す。記号長 $n_s=15 \sim 18$ [bits]とした場合、図4aからわかるように、M.P.2の符号化辞書登録数 n_2 を変数とする削減bits数 b_r は単峰性関数となっていることから容易に削

減ビット数 b_r の最大値 b_{rmax} を求めることができる。

図5a,5bは式(2)により補正された削減bits数 b'_r の変化の様子である。記号長 $n_s=15 \sim 18$ [bits]とした場合、図4aと同様に単峰性関数となっている。表2に、この式(2)により補正された削減bits数 b'_r の最大値 b'_{rmax} 、その時の符号化辞書登録記号数 n_2, n_3 、登録不可記号数を示した。以下、この式(2)により補正された削減bits数 b'_r の最大値 b'_{rmax} から決定した符号化辞書登録記号数 n_2, n_3 を用いて

データ圧縮率 R の試算を行った。また、図4b,5bからわかるように削減bits数 b_r, b'_r ともに符号語長 $n_c \geq 19$ [bits]においては単調増加となっている。

これは総符号語数(符号空間) $N_c = 2^{n_c}$ の値がM.P. 2と3の出現記号数の合計 $N_{as2} + N_{as3}$ 以上となったためである。従って、M.P.2,3の符号化辞書登録記号数 n_2, n_3 の合計 $n_2 + n_3$ が大きくなればなるほど削減bits数 b_r, b'_r の値は大きくなる。

3.3データ圧縮率

最頻ビット・パタン置換固定長符号化を行ったとして、その(圧縮)符号化後のファイル・サイズ N_{bc} [Bytes]、データ圧縮率 R [%](式(3))を試算するプログラムを作成した。本解析ではM.P.の最大次数は3であるので最大4[Bytes]の記号のつながり($n_s = 32$ [bits])を考えることとなる。符号化に際し、まず記号4[Bytes]のつながりにてM.P.3の辞書を検索し、一致するものがあればその記号4[Bytes]分が符号化されたものとし、一致するものがなければ、次にM.P.2の辞書を検索し、一致を捜すこととしている。図6.に最頻ビット・パタン置換固定長符号化法による(圧縮)符号化後bits数 N_{bc} [bits]、データ圧縮率 R [%]を試算するプログラムの概要流れ図を示す。

本解析に用いたファイルそのもの、朝日新聞「天声人語」(1,338日分)の種々の条件におけるデータ圧縮率 R を試算した結果を表3.に示す。データ圧縮率 R の試算に使用した符号化辞書登録記号数 n_2, n_3 は式(1b),(2)により求めた削減bits数 b'_r の最小値 b'_{rmax} を求めることにより決定した値であるが、2.2に記したように、この値、符号化辞書登録記号数 n_2, n_3 はデータ圧縮率 R を最小とする値の推定値である。

表3.に示すように符号語長 $n_c = 18$ [bits]の時、データ圧縮率が最小の $R = 56.50$ [%]となっている。図7.に符号語長 n_c と、その符号語長 n_c において最小となると推定したデータ圧縮率 R の関係を示す。符号語長 $n_c \geq 19$ [bits]においてM.P.2,3の符号化辞書に朝日新聞「天声人語」(1,338日分)中に出現した記号数 N_{as} が全て登録される事となるが、その登録されない限界の値、符号語長 $n_c = 18$ [bits]においてデータ圧縮率 R が最小値となっている。この時の符号化辞書ファイル・サイズはM.P.2,3のものを合わせて4.65[MBytes]となっている。この値でも朝日新聞「天声人語」(1,338日分)中の出現記号数 N_{as} が全て符号化辞書に登録される $n_c = 20, 22$ [bits]の時の符号化辞書ファイル・サイズ6.01[MBytes]よりは小さくなっている。

なお、表3.において $n_s = 20, 22$ [bits]の時、記号不一致数が共に"1"となっているのは、最頻ビット・パタン固定長符号化法によるデータ圧縮率 R を試算するプログラムが被符号化ファイルの最後の記号の3,4[bytes]のつながりを"0"で補って作成しているためである。

参考の為、日本国内で広く用いられているファイル圧縮ソフトウェアLHA(注2.)[7]にて同じファイル、朝日新聞「天声人語」(1,338日分)を圧縮したところ、ファイル・サイズは $N_{bc} = 1,079,983$ [Bytes]、データ圧縮率 $R = 54.18$ [%]となった。このソフトウェアLHAは日本語文字データ専用ではなく汎用で、圧縮データの種別を問わない。ファイル圧縮ソフトウェアの性能を比較するには単に

表3.最頻ビット・パタン置換固定長符号化法によるデータ圧縮率 R の試算
被符号化ファイル:朝日新聞「天声人語」総文字数:970,846, File Size:1,993,374[Bytes]

符号語長 n_c [bits]	符号化辞書登録記号数		符号化辞書ファイル・サイズ [Bytes]		記号一致数		記号不一致数	データ圧縮率 R [%]	データ圧縮実行時間 (注1.) t [s]
	M. P. 2 n_2	M. P. 3 n_3	M. P. 2	M. P. 3	M. P. 2	M. P. 3			
15	13,067	19,700	189,859	343,319	120,250	376,565	126,364	70.50	245
16	22,766	42,769	339,241	758,542	77,752	424,287	62,970	63.01	377
17	43,146	87,925	653,505	1,571,303	42,698	460,230	24,360	58.81	531
18	56,910	205,234	866,821	3,787,841	5,843	493,852	436	56.50	644
20	89,213	250,106	1,367,281	4,640,447	0	498,343	1	62.50	693
22	89,213	250,106	1,367,281	4,640,447	0	498,343	1	68.75	737

(注1.)使用コンピュータ:GATEWAY2000 G6-233, CPU:Pentium II, 233[MHz]。実行時間計測には言語Cの関数time(NULL)を使用した。

(注2.)UNLHA32.DLL Ver.1.55eをLHAユーティリティ32 Ver.1.43にて使用した。

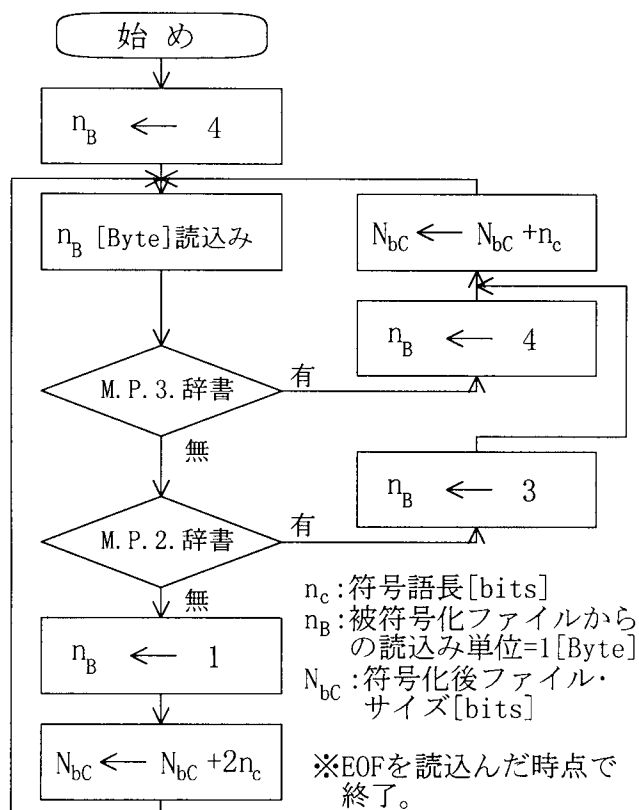


図6. 最頻ビット・パターン置換固定長符号化bits数
試算プログラム

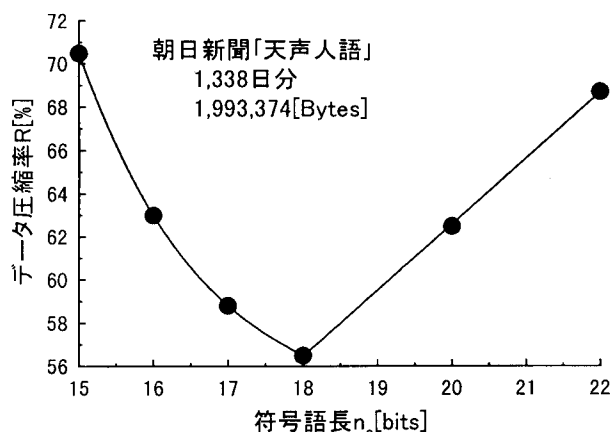


図7. 最頻ビット・パターン置換固定長符号化法によるデータ圧縮率R
データ圧縮率Rのみではなく圧縮、伸長(復元)実行時間、プログラム・サイズ、辞書などデータ・サイズ、使用メモリ量を考慮する必要がある[8]。

4. まとめ

本解析により以下の結果が得られた。

(1) 朝日新聞「天声人語」(1,338日分)を解析し、記号の出現頻度 f_a 、確率 p_a 、エントロピー H を求

めた。文献[2]に対しデータ精度を高めた。

(2) 上記(1)により求めた記号の出現頻度 f_a 、確率 p_a を日本語の特徴量とし、最頻ビット・パターン置換固定長符号化法を用いたとした場合のデータ圧縮率 R を試算するプログラムを作成した。

(3) 上記(1), (2)により最頻ビット・パターン固定長符号化法を用いたとして、

符号語長 $n_c=18$ [bits]の時、

データ圧縮率 $R=56.50$ [%]

の最小値(推定値)を得た。

今後は本解析で用いた最頻ビット・パターン置換固定長符号化法に対し

- ・試算したデータ圧縮率 R を最小と判断したことの妥当性の検証、

- ・M.P.1~3の3個の符号化辞書を用いることの有効性の検討、

- ・朝日新聞「天声人語」以外の日本語文字ファイル符号化への適用検討

を行う予定である。

5. 謝辞

本報告では解析データとして朝日新聞「天声人語」を使用させていただいた。朝日新聞社に謝意を表する。

文献

- [1] 細野敏夫: "情報工学の基礎", コロナ社(1967).
- [2] 平尾友一: "日本語の情報量とその特徴を活かしたデータ圧縮法の考察", 東京工業高等専門学校研究報告書, Vol.33, No.1, pp.91-96, Sept.2001.
- [3] Shannon, C.E.: "A Mathematical Theory of Communication", Bell System Tech. J., Vol.27, pp.379-423 and 623-656(1948).
- [4] Shannon, C.E., and Weaver, W.: "The Mathematical Theory of Communication", Univ. Ill. Press(1949).
- [5] 細野敏夫: "エントロピーの科学", コロナ社(1991).
- [6] 植松友彦: "文書データ圧縮アルゴリズム入門", CQ出版社(1994).
- [7] 吉崎栄泰: "圧縮ユーティリティ新LHの全貌", C Magazine, 1991年1月号, pp.59-68.
- [8] The Canterbury Corpus, <http://www.corpus.canterbury.ac.nz>.

(平成14年9月30日受理)

高専生活の活性化に向けての試み（2）

—くぬぎだフォーラムの可能性—

古屋正俊*, 鈴木智之*, 黒田一寿*

An Attempt at to Vitalize College Life (2)

—Possibility of the Kunugida forum—

Masatoshi FURUYA, Tomoyuki SUZUKI, Kazutoshi KURODA

The physical education subject held the first Ekiden on February 7, 1992. Since then, we have sponsored 37 times of vitalization plans in these 11 years. And, the vitalization plan was unified to the name of the Kunugida Forum from 1997. The purpose of this report is to tidy the contents of an existing vitalization plan, to understand the situation of a recent student life and educational world, and to examine the future possibility of the Kunugida forum.

(Key words : Kunugida forum, Vitalization, Possibility)

研究の目的

体育科では、平成4年2月7日に第1回クラブ対抗駅伝大会を開催して以来、この11年間に37回のミニ企画を主催してきた（表1）。平成9年からは「参加者相互の交流を深め、キャンパスライフの活性化をめざすとともに、多様な価値観、自然観、人生観に触れ、旺盛なチャレンジ精神や視野の広い世界観を身につける」ことを目的に、「くぬぎだフォーラム」の統一冠名をつけて、各種ミニ企画を実施してきた。

各種ミニ企画を立ち上げた当時の動機は、①学生たちの多様なニーズに応える（好奇心の受け皿として）、任意参加型のミニ企画が学内に少なかったこと、②体育科の調査で¹⁾、学校生活に不満を感じている学生が予想外に多く（図1）、まず課外活動の活性化が急務と感じたこと、③当時の学生相談室が「育てるカウンセリング」活動の一環として講演会・講習会を積極的に開催し、学生に大きな反響をもたらしていたこと^{2~4)}、④本校の学校5日制実施（平成4年度から）に伴い、土曜日の有効活用に関心が高まったこと、⑤学生たちとともに「遊び心」をもってキャンパスライ

フを楽しみたい（自己実現を図りたい）といった教員側の素朴なニーズがあったこと、等であった。

こうした背景の中でスタートした創設期（平成4年から平成7年度）のミニ企画の様子は、「高専生活の活性化に向けての試み」⁵⁾として報告している。本論文では、その後の「くぬぎだフォーラム」に焦点を当て、学生生活の状況や高専を取り巻く教育環境の急激な変化を踏まえ、これまでに実施してきたミニ企画の意義や課題を整理し、これからの「くぬぎだフォーラム」の可能性・方向性を検討したい。

「くぬぎだフォーラム」の企画内容

「くぬぎだフォーラム」の企画内容を整理すると、1) 歩行体験型の企画、2) 自然体験型の企画、3) 文化体験型の企画に分類できる（表2）。ただし、これまで実施してきた企画は、学生たちとの日々の交流の中で生まれた企画であり、当初からこのような分類を想定してスタートした訳ではない。「この指とまれ」的な任意参加型の企画のため、参加学生のタイプも人数も企画内容によって異なる。その都度、多様な学生との出会いが期待できるのがこのミニ企画の魅力でもある。

表1 くぬぎだフォーラム No.(ミニ企画) のあゆみ

期 日	企 画 名
平成4年2月7日	第1回クラブ対抗駅伝大会
平成5年2月4日	第2回 "
平成6年2月4日	第3回 "
" 11月12日	第1回チャレンジウォーク
平成7年2月14日	第4回クラブ対抗学内駅伝大会
" 3月8日～11日	第1回おもいきり雪まみれツアー
" 10月21日	第2回チャレンジウォーク
平成8年2月13日	第5回学内駅伝大会 (学生会主催行事として以後毎年実施)
" 3月7～9日	第2回おもいきり雪まみれツアー
" 4月30日	第1回ストーンハンティング
" 10月7日	第1回冒険プログラム体験講座 『プロジェクトアドベンチャー体験ツアー』
" 10月19日	第3回チャレンジウォーク
" 11月4日	第1回スポーツ BOX 講座 『全日本チームによるセバタクロー講習会』
平成9年1月29日	第1回東京高専映画祭『絵の中のぼくの村』
" 10月18日	くぬぎだフォーラム№1
" 11月6日	第4回チャレンジウォーク くぬぎだフォーラム№2
" 12月10日	第2回スポーツ BOX 講座 『ジャンボ鶴田のスポーツ人生』
平成10年1月22日	くぬぎだフォーラム№3 第3回スポーツ BOX 講座 『ネイチャースキーの魅力』
" 10月25日	くぬぎだフォーラム№4 第2回東京高専映画祭 『地球交響曲ガイアシンフォニー第1番』
" 11月3日	くぬぎだフォーラム№6 第2回プロジェクトアドベンチャー体験ツ アー(上級編)
" 11月5日	くぬぎだフォーラム№5 第5回チャレンジウォーク(10月17日実施 が延期)
平成11年4月22日	くぬぎだフォーラム№7 第3回東京高専映画祭『若者たち』
" 5月8日	くぬぎだフォーラム№8 第1回学内道草ハンティング
" 10月16日	くぬぎだフォーラム№9 第4回スポーツ BOX 講座 『昭和B級文化の記録—まぼろしの小学校 を語る』
平成12年1月19日	くぬぎだフォーラム№10 第6回チャレンジウォーク
" 1月26日	くぬぎだフォーラム№11 第4回東京高専映画祭 『地球交響曲ガイアシンフォニー第2番』
" 4月22日	くぬぎだフォーラム№12 第5回東京高専映画祭 『地球交響曲ガイアシンフォニー第3番』
" 10月14日	くぬぎだフォーラム№13 第2回ストーンハンティング
" 11月4日	くぬぎだフォーラム№14 第7回チャレンジウォーキング
平成13年3月12、13日	くぬぎだフォーラム№15 くぬぎだ祭ジョイント企画 『ランチタイムコンサート・懐かしの青春 ヒットソング』
" 4月19、26日	くぬぎだフォーラム№16 第3回おもいきり雪まみれツアー
" 5月1日	くぬぎだフォーラム№17 第2回学内道草ハンティング
" 10月20日	くぬぎだフォーラム№18 第3回ストーンハンティング
平成14年3月5、6日	くぬぎだフォーラム№19 第8回チャレンジウォーク
" 4月12、18日	くぬぎだフォーラム№20 第4回おもいきり雪まみれツアー
" 4月20日	くぬぎだフォーラム№21 第3回学内道草ハンティング
" 5月18日	くぬぎだフォーラム№22 第4回ストーンハンティング
	くぬぎだフォーラム№23 第1回旧街道を歩こう

表2 「くぬぎだフォーラム」の企画内容

①時期 ②場所 ③対象 ④内容 ⑤参加費 ⑥運営経費 ⑦運営組織 ⑧備考

《歩行体験型企画》	◇ チャレンジウォーク42.195 km ①10月、②高専から湘南海岸、③学生、教職員、OB、保護者、一般、④高専から湘南海岸まで42 kmの長距離歩行体験を通して、チャレンジ精神を育み、自己理解、他者理解を深め、町歩き楽しさと、達成感、感動を味わう、⑤500円(交通費は自己負担)、⑥体育科、後援会補助、⑦実行委員会、⑧「くぬぎだフォーラム」の代表的企画 ◇ 旧街道を歩こう ①5月、②高専から相模湖、③学生、教職員、OB、一般、④高専から相模湖まで、関所を抜け、峠を越え、宿場を訪ねる、昔の旧道歩き三里半(約14 km)、⑤100円(交通費は自己負担)、⑥体育科、⑦実行委員会、⑧公開講座で平成14年度より実施
《自然体験型企画》	◇ おもいきり雪まみれツアー ①3月(1泊2日)、②長野県戸隠高原、③学生、④積雪期の自然への関心を高め、各種の雪上プログラムを楽しみ、参加者相互の交流を深める、⑤7,800円(交通費は自己負担)、⑥全額参加者負担、⑦体育科、⑧冬期学校のフォローアップ企画 ◇ ストーンハンティング ①4月、②山梨県塩山市、③学生、教職員、④森林浴を兼ね、森の中で水晶の原石探しを楽しむ、⑤100円(交通費は自己負担)、⑥体育科、⑦体育科、⑧山主に了解を取って実施 ◇ 冒険プログラム体験講座 ①不定期開催、②プロジェクトアドベンチャー施設(山梨県長坂町、神奈川県南足柄市)、③学生、教職員、④プロジェクトアドベンチャー施設の各種冒険プログラムにチャレンジし、参加者相互の協力と信頼関係を高め、自己再発見を体験する、⑤4,000円(指導料)(交通費は自己負担)、⑥体育科、⑦体育科、⑧平成10年度は新入寮生オリエンテーションとして企画したが雨天中止となった ◇ 学内道草ハンティング ①4月、②東京高専、③学生、教職員、④キャンパスの野草を採取し、天ぷらで野趣豊かな春の味わいを楽しみ、キャンパスの魅力を再発見する、⑤無料、⑥体育科、⑦体育科
《文化体験型企画》	◇ スポーツ BOX 講座 ①不定期開催、②学内、③学生、教職員、OB、保護者、一般、④全日本チームによるセバタクロー(東南アジアで盛んな伝統的球技)のデモと講習会、全日本プロレスの人気レスラーで大学講師のジャンボ鶴田が語るスポーツ人生講座、日本山岳ガイド連盟理事で多数の自然観察プログラムを主催する橋谷晃氏によるネイチャースキーのスライド&トークショー、昭和B級文化研究家で昭和レトロ商品博物館(青梅市)の名誉館長である串間努氏が語る高度経済成長時代の小学校文化と学校民俗学の講演会、⑤無料、⑥委任経理金、⑦体育科、⑧八王子の広報等のイベント情報欄に掲載 ◇ 東京高専映画祭 ①不定期開催、②学内、③学生、教職員、OB、保護者、一般、④誰にもある心の原風景を描いた・映画「絵の中のぼくの村」、地球環境の美しさと人類の未来への示唆的なメッセージを描いた・映画「地球交響曲ガイアシンフォニー第1番」、「地球交響曲ガイアシンフォニー第2番」、「地球交響曲ガイアシンフォニー第3番」、60年代末期の揺れ動く若者たちの心とたくましく生きる5人兄弟の日常を描き、主題歌もヒットした・映画「若者たち」、⑤無料、⑥委任経理金、体育科、⑦体育科、⑧八王子の広報等のイベント情報欄に掲載 ◇ ランチタイムコンサート ①平成12年度くぬぎだ祭、②学内、③学生、教職員、OB、保護者、一般、④コロムビアレコード所属のプロ歌手・金子みちこさんによる、60年代70年代の懐かしの青春ヒットソングのコンサート、⑤無料、⑥委任経理金、⑦体育科、⑧くぬぎだ祭ジョイント特別企画として実施

リピーターが増える企画は継続し、手ごたえのない企画は単発で終わるものもある。

ミニ企画の実施時期は学校行事と重ならない日程の土曜日が多くなっている。学外で実施される企画は、宿泊を伴う「おもいきり雪まみれツアー」を除いて、高専からの日帰り圏内で実施され、交通費は参加者の自己負担としている。参加費は保険料等の実費のみを徴収している。企画の主な運営経費は、体育科（校費の物品購入以外はスタッフの個人負担）、委任経理金（「スポーツ・文化活動奨励助成金」として、㈱大修館書店と㈲スポーツボックスからの奨学寄附金）、後援会補助（チャレンジウォークのみ）、河東基金（現・立教大学コミュニティー福祉学部の河東仁先生からのミニ企画助成金）、その他の個人寄付等となっている。

運営組織は歩行体験型企画を除いて、主に体育科（体育教員3人）で対応している。歩行体験型企画の「チャレンジウォーク」と「旧街道を歩こう」は、企画の趣旨に賛同し協力してもらえる教員（任意参加のスタッフ）と関係クラブ（アドベンチャークリエーションクラブ、写真部、吹奏楽部）で任意の実行委員会を組織している。特にスタッフ教員には、毎回大変忙しい時期にもかかわらず、手弁当で献身的な支援をいただいている。さらに参加OBや後援会からの支援協力の申し出もあり、実行委員会にとって大変大きな励みとなっている。また平成14年度からは、「くぬぎだフォーラム」を学生相談室の共催を得て実施するようになった。

高専生活に活性化の兆し

高専生活を活性化する上で、課外活動の果たす役割は極めて大きい。本校の将来構想検討委員会

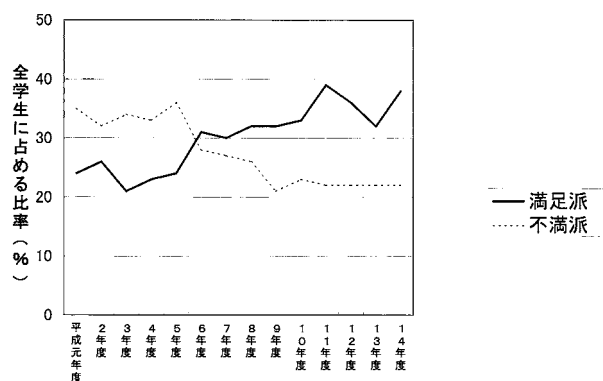


図1 高専生活に対する意識

では、その報告書⁶⁾で「課外活動は正課の教育活動と学校教育の両輪として重要な位置づけにあり、学生の課外活動への積極的な取り組みと、教育を施す側の良好な活動環境の提供と強力な支援が求められている」としている。さらに今後の課題・提言で「学校生活を充実させる点で部活の存在は極めて重要であり、学校側は学生への部活奨励と活動環境の整備を続けねばならない」と指摘している。

本校の部活動や同好会への所属率をみると(図2)、減少傾向にあった所属率が運動系・文科系（同好会を含む）ともに平成10年頃から上昇傾向に転じてきている。特に同好会数が過去最多の13となった平成14年度は、文化系（同好会を含む）の所属率の増加が目立つ。学科別では、物質工学科が運動系・文科系ともに部活動への所属率が最も高く、機械工学科は運動系の所属率が高いが文科系の所属率が低く、情報工学科は運動系の所属率は低いが文科系の所属率が高い傾向がみられた。

また学生生活の満足度に関する意識調査(図1)では、平成6年度より満足派の比率（大変満足＋やや満足）が不満派（大変不満＋やや不満）を上回るようになった。

その後も学生生活の満足派の比率は増加傾向にあり、平成14年度は約4割近くの学生が東京高専の学生生活に満足感を持っていると回答している。その一方で、学生生活に何らかの不満感を抱いている学生の比率は減少し、ここ数年は不満派が約2割と横ばい状態を続けている。

学生生活の活性化のバロメータとなり得る「部活の所属率」と「学生生活の意識」に関するデータが、いずれも平成10年以降は上昇傾向に転じ、活性化の兆しを読み取ることはできる^{注1}。この時期の学内的な要因としては、平成8年以降の寮の

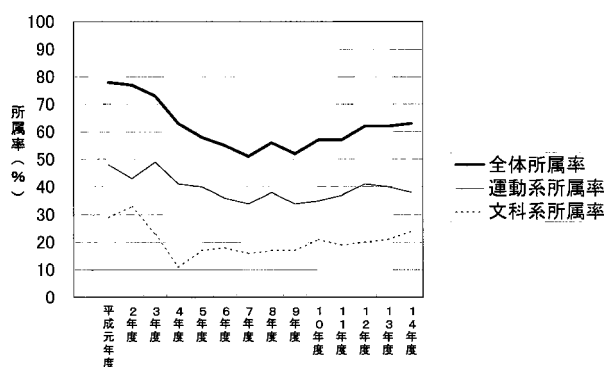


図2 部・同好会所属率の変化

改革が軌道に乗ってきたこと、平成12年度は本校の教育環境の「自己点検・自己評価」に関する報告書が出され、また担任会がスタートし、低学年を中心にきめ細かな学生支援を展開したこと⁷⁾、平成13年度は学生たちに関心の高いロボコンゼミが活動を開始し、地区大会で技術賞を獲得し全国大会に出場したこと、等を指摘できる。

早計な判断は慎むべきではあるが、このようなさまざまな学内の教育環境の見直し機運や、学生会の意欲的な諸活動の展開が、キャンパスの雰囲気として学生にプラスに伝播し、学生生活の活性化の追い風になったと推察することはできる。

教育環境の変化

学内的な教育環境の変化だけでなく、高専を取り巻く環境も大きく変化している。平成12年度に文部省（当時）は、「大学における学生生活の充実方策について」の報告書で、「学生中心の大学」への視点の転換と、正課外教育の意義を捉え直し積極的な取り組みの必要性を強調している。またそのための教員の意識改革を求めている。この報告書を受けて、学生支援体制作りにも本腰を入れ始めた大学^{8,9)}や、学生中心の大学づくりを目指す「大学改革大綱」をまとめた大学¹⁰⁾もある。

高専でも①個性化、②活性化、③教育研究の高度化を課題とし、顧客（学生、地域、近隣企業）重視の視点からの具体的な取り組みが求められている¹¹⁾。目前に迫る少子化や法人化といった厳しい競争的環境の中で、「個性が輝く活気のある学校づくり」をどのように推進するのか。5年間の独自の教育システムを持つ高専では、「創造性のある実践的技術者の育成」といった社会的な期待に応えるためにも、入学した学生を大切に育て、学生の立場に立った教育・指導の充実や、サービス機能の向上に努めることが一層重要になってくるといえる。

高専を目指す小・中学生の学習環境も大きく変化している。平成14年から新学習指導要領が完全実施され、完全学校5日制や「総合的な学習の時間」の創設など、「生きる力」（自分から学び、考え、判断し、表現し、問題解決していく力）の育成を狙いとした教育環境で学んだ中学生が、今後は高専に入学してくる。これからの新入生は、高専入学以前に、より多彩な生活体験、自然体験、

社会体験、文化・スポーツ体験等を身に着的けると考えられ、彼らの幅広い知的好奇心を満たし、その能力を十分に開花させるべき、新学習指導要領に対応した学内環境の整備・再検討も急務と思える。

また生涯学習社会が進展する中で、学校の教育環境も生涯学習の視点から問い直す必要もある。学生たちが、社会の変化に主体的に対応できる能力や創造性を培う体験的な学習機会を、キャンパスライフの中に積極的に導入するべきであろう。その一方で、社会人や地域の学習ニーズに応え、地域社会に開かれた生涯学習活動の拠点として、キャンパスに学社融合的な機能も求められてきている。単に人材育成の学校教育現場としてだけでなく、一組織としての東京高専が、地域社会の中でいかに認知され活性化していくが問われる時代になってきている。

「くぬぎだフォーラム」の可能性 ーまとめとしてー

本論文では、学生生活の状況や高専を取り巻く



チャレンジウォーク42.195 km

教育環境の急激な変化を踏まえ、これまでに実施してきたミニ企画の意義や課題を整理し、これからの「くぬぎだフォーラム」の可能性・方向性を検討することであった。

前述したように、東京高専の学生生活には僅かながら活性化の兆しが見えてきた。しかし、高専を取り巻く教育環境は急激に変化してきている。そうした教育環境の変化としっかりと向き合い、社会的な期待に応えていくには、教育現場に携わるわれわれ自身が、これまでの実践の延長線上で、時代を見据えたより豊かな教育実践を、どのように具体化し展開していくかが問われてきている。

多くの支援をいただく中で、学生たちとともに創り上げてきた「くぬぎだフォーラム」も、こうした状況変化の中で、時代に応じた軌道修正や新たな意味付与も必要となってきた。ここでは「くぬぎだフォーラム」のこれからの可能性・方向性を検討して、本論のまとめとしたい。

1) 歩行体験型企画

「くぬぎだフォーラム」の「顔」としての代表的企画であり、幅広く関心を呼び、参加者も多い。平成14年度からは学校5日制の受け皿企画として親子を対象に、「旧街道を歩こう」の企画を立ち

上げた。公開講座として学校の支援を得る中で実施したが、参加者からの反響も大きく、地域連携を深めるこの種の企画は、大いに推進すべきと感じている。平成15年度はチャレンジウォークにおいても地域の参加者を募って実施を検討したい。

1日で終了する企画であるが、ウォーキングの付加価値を高めるためには「歩行と健康」「歩行の歴史・文化的意義」「町歩きの魅力」といった歩行文化に関するウォーキング・ゼミを事前開講し、カリキュラムとの連携をとる中で実施していきたい。当然、ゼミ受講者への単位付与も検討しなければならない。

歩行体験型の企画は、伴走車等の支援車両が不可欠である。しかし行事等の私用車の使用には制約があり、運営に支障をきたしている。今後は「総合的な学習」を経験してきた学生が増えるとともに、学外での課外活動画が活性化する可能性も高い。この種の活動を積極的に支援するためにも、私用車の運用に関する学内規定を設ける必要性を強く感じている。

2) 自然体験型企画

それぞれの企画に、こだわりのファンが存在しており、リピーターが多い。実施規模も10数名の小集団で実施することが多い。今後も参加者それぞれの個性が発揮でき、相互に感動を共有できる、手作りの雰囲気を大切にしていきたい。

小・中学校で総合的な学習を体験してきた新入生は、この種の自然体験活動への関心も高いと思える。彼らのニーズに対応して企画内容を柔軟に修正し、マンネリ化に陥らずに、企画内容の質的向上を図ることも必要である。

長期休暇や、週末を利用して、短期集中形式の講座として、自然体験型の企画を実施することも検討したい。当然、単位付与のあり方も検討が必要となる。

歩行体験型と自然体験型の企画は、継続参加者も多く、卒業後もOBとして参加する者もいる。在学中だけでなく、OBとの交流も継続できるような、また保護者との連携を深めるようなネットワーク作りも急務といえる。

3) 文化体験型企画

首都圏にあるため、話題性のある講師を呼ぶなど、多彩な情報提供が可能である。これは地方の高専にはない、東京高専の大きな地理的なメリッ



ネイチャースキー

ネイチャースキーの魅力・スライド&トーク

第3回 スポーツBOX講座

橋谷 晃 さん

スキーで楽しむ雪の森のハイキング

午後4時より

主催 東京高専 体育科

12月10日(水)
東京高専 5201 教室

京王線狹間駅から徒歩3分

くぬぎだフォーラムNo.9

第4回スポーツBOX講座

昭和B級文化の記録

まぼろし小学校

高度経済成長時代の学校文化史
学校民俗学事始め

まぼろし小学校は、どこにあるのでしょうか？
それはこの講座に参加する皆さんの心の中にあります。
誰もが体験している小学校時代。あの頃の原風景が甦ってきます。
大切な忘れ物を思い出したように。
参加した後は、小学校時代の友達に電話をかけてみてください。
「まぼろし小学校」は、そんな講座なんです。

日時・平成十一年五月八日午後三時より
場所・東京高専第2AV教室（図書館棟） 入場無料
講師・日曜研究家、串間努さん（まぼろし小学校の著者）

主催・東京高専体育科

トである。実施には経費負担が課題であるが、これまでは委任経理金を主財源として実施してきた。

今後は無料参加を前提としても、財源が確保できない状況では、有料企画や公開講座としての実施も検討すべきである。

テーマ性のある映画や講演は、自己啓発を促し、幅広い人生観、世界観の形成に有益である。今後は学生相談室や担任会、学生会との連携を持ちながら、学級や学年単位で幅広く参加者を呼びかけ、自己啓発の機会として、またキャンパスライフの付加価値を高めるような「意味の含有率の高い」企画を提供していきたい。

最後になりましたが、「くぬぎだフォーラム」のこれまでの参加者、支援者に心よりお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 体力テスト分析処理データ、東京高専体育科 資料、1989-2002.
- 2) 佐藤義隆、河東 仁、清水昭博、伊藤 彰、根本葉子、学生相談室運営に関する試行的措置とその結果について、高専教育、第15号、pp. 234-240、1992.
- 3) 河東 仁、佐藤義隆、伊藤 彰、市村 洋、畔柳園

- 子、石坂浩美、高等専門学校における学生相談室のより有効なあり方についての一考察、高専教育、第16号、pp. 244-250、1993.
- 4) 伊藤 彰、河東 仁、佐藤義隆、高専における学生相談室の意義についての一考察、高専教育、第18号、pp. 284-291、1995.
- 5) 古屋正俊、佐藤義隆、河東 仁、鈴木智之、高専生活の活性化に向けての試み、高専教育、第19号、pp. 338-345、1996.
- 6) 東京工業高等専門学校、将来構想検討委員会、明日を拓く指標、第2号、pp. 60-61、2000.
- 7) 竹田恒美、青木宏之、潮 秀樹、河東 仁、高橋裕子、館泉美智子、古屋正俊、村井三千男、担任会による低学年指導の試み、平成13年度高等専門学校教育教員研修会発表資料、2001.
- 8) 東京工業大学、学生支援ワーキンググループ報告書、2002.
- 9) 広島大学、第4回評議会、2000.
- 10) 徳山大学、2001.
- 11) 今後の国立高等専門学校の在り方に関する検討会 配布資料、2002.

注1) 部活動の活性化は、本来は所属率だけでなく、活動量や活動内容をみて総合的に判断すべきで、活動の質的側面は今回のデータでは捉えていない。

（平成14年9月30日 受理）

スキー教室参加学生の意識に関する研究 (2)

鈴木智之*, 古屋正俊*, 黒田一寿*

A Study on Attitude of the Students Participating Ski Project (2)

Tomoya SUZUKI, Masatoshi FURUYA, Kazutoshi KURODA

The purpose of this study is to obtain fundamental data to investigate how the skiing project of our college performed in future, and to reveal the senses of the students of our college participating in skiing project. The results are as follows; the most of students participating in skiing project are satisfied with the experience of skiing and being friends with classmate. And they are dissatisfied with being able to ski a lot of time and to play snowboard. Skiing coaches is required the ability to give lesson skillfully and friendship.

(Key word : skiing project)

1. はじめに

本校では、平成12年度まで毎年2年生を対象に、心身の健全な育成を図るとともに、スキー技術の修得を通じて学生相互及び教職員間の親睦を深めることを目的に、3泊4日の冬期学校の一環としてスキー教室を実施してきた。本校創立以来継続して実施されてきたスキー教室は、一部外部指導員を委託したこともあったが、当初より本校の教官が学生のスキー指導を担当してきた。しかし、平成13年度は初心者班2班を本校教官4名が担当した以外は15名の現地外部指導員が学生の指導を担当し2泊3日の形態でスキー教室を実施した。目的も、冬季スポーツ(自然体験活動)によって、心身の健全な育成を図るとともに、スキー技術の習得・向上を目指し、併せて集団訓練によって団体生活を身につけ、参加者相互の親睦を深めることに改められた。この背景には、学校週5日制と学生の金銭的な負担に伴う学校行事の見直しや、スキー経験者が増加し初心者が参加者全体の2割を下回り上級者のレベルもかなり高くなったことに伴い学内のスキー指導教官を確保することやスキー指導の安全を図ることが困難になったことなどが挙げられる。スキーの指導を外部指導員に委託することは学生と教職員間の親睦の場が失われることになり反対意見もあったが、スキー指導はスキーの得意な一部の教官しか担当する

ことができないこともあり学生との親睦の機会は全学的な規模の行事を企画することになった。また、冬期学校の期間については2泊3日では初心者が十分楽しめるまでになるか不安があったが現地指導員を委託すると費用がかかり3泊では負担が大きすぎるため2泊3日と短縮されることになった。こうして新しい形態で実施された冬期学校であるがその実態を検討し改善を図り今後の冬期学校を考えていかなければならないと思われる。

そこで本研究では、今後のスキー教室のあり方を検討する上での基礎資料を得ることを目的として、スキー教室参加学生の意識を分析し明らかにしていきたい。

2. 研究の方法

スキー教室参加学生の意識を明らかにするために、13年度スキー教室参加学生全員を対象に調査表によるアンケート調査を実施した。調査表は次のような質問項目を設定した。

- ① クラス
- ② 班
- ③ 冬期学校の満足度
- ④ 指導者について
 - ・指導者の指導力
 - ・指導者のスキー技術
 - ・親しみやすさ
 - ・頼りがい

- ・思いやり
- ・明るさ
- ・安全への配慮
- ⑤ 指導者はどちらがよいか
- ⑥ 冬期学校の日程
- ⑦ 疲労感
- ⑧ 疲れのピーク
- ⑨ 疲れの原因
- ⑩ 睡眠時間の確保
- ⑪ 友人との交流
- ⑫ 今後スキーを楽しみたいか
- ⑬ 今後スキー技術の向上を図りたいか
- ⑭ 冬期学校参加費の負担度
- ⑮ 保護者の関心度
- ⑯ 冬期学校で楽しかったこと(複数回答)
- ⑰ 冬期学校で不満に感じたこと(複数回答)
- ⑱ 冬期学校でやってほしい内容

図1 全体の満足度

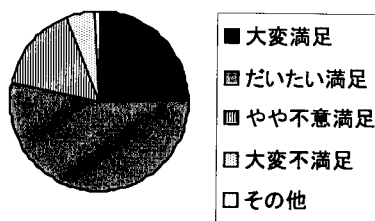


図2 初心者の満足度

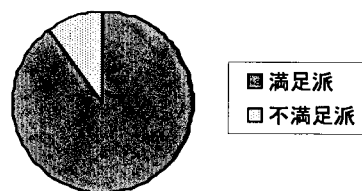


図3 初級者の満足度

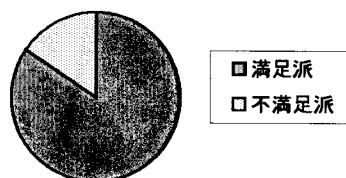
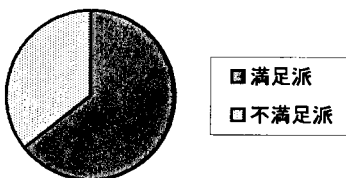


図4 中上級者の満足度



3. 結果及び考察

3. 1 スキー教室の満足感、楽しさ

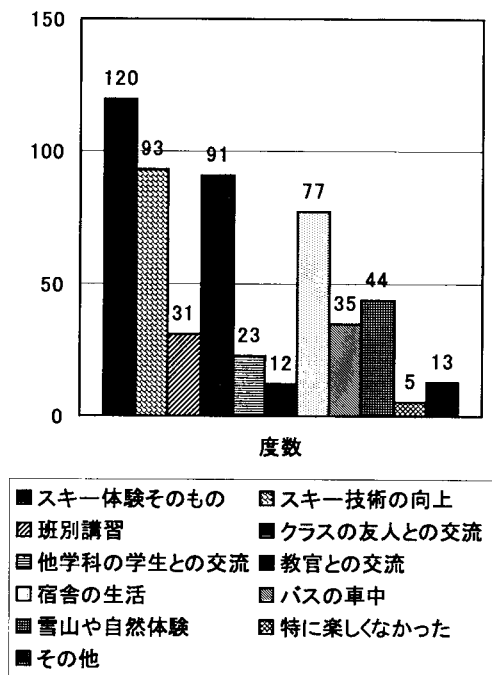
今回のスキー教室は形態を変えて実施したが参加学生はどの程度満足したであろうか。図1は学生の冬期学校の満足度を表したものである。79%の学生が満足していることを示している。平成2年度の調査の時には「満足派」が4割であった¹⁾ことに比べると満足している学生が増加していることがわかる。また、図2、図3、図4はスキー技術のレベル別に見た満足度をあらわしたものであるが、平成2年度同様スキーレベルが上がるにつれ「満足派」の比率が減少している²⁾。しかし、どのレベルにおいてもその比率は平成2年度のものに比べそれぞれ増加している。今年度は日程が1日短くなったことで初心者が満足できず終了してしまうのではないかと不安であったが、ほとんどの学生が滑れるようになりスキーの楽しさを体験できたようである。これはスキー場のゲレンデの状態、天候そして用具の改善などの要因が影響していると考えられる。

冬期学校で楽しかったと感じたことについて示したものが図5である。ここでも平成2年度と同じような傾向を示している。「スキー体験そのもの」が一番高く、それについて高い数値を示したのが「スキー技術の向上」である。また、「クラスの友

人との交流」や「宿舍の生活」といったスキー以外にも楽しみを見出している学生が多いようである。「班別講習」に対する満足度は少ない。

表1は冬期学校で不満に感じたことについて示したものであるが、「講習時間が少ない」「自由に滑れない」「冬期学校の日程が短い」といったスキーを思う存分滑ることができないという内容の数値が高くなっている。これは班別講習以外の滑走が禁止されているためであるが、経験者にとっては物足りなさを感じるようになってきている。今後は安全性を確保しながら講習以外でも滑走できるようにしていくことを考慮していく必要があるのでは

図5 楽しかったこと



ないだろうか。また、「スノーボードができなかった」という理由も高い数値を表している。これは、スノーボードが若年層に定着してきたことや、冬期学校でも実施することを検討していたという情報を学生が耳にしていたことも高い数値を示した原因となっているようである。スキーの実技以外では、宿舍の部屋割りが不満の理由として挙げられているが、楽しさにクラスの友人との交流が挙げられているが、宿舍での生活に大きく影響する部屋割りは大きな要因となっているようである。これまでは機械的に割り振ってきたがこれからは学生に責任を持たせ部屋割りを決めていくことも必要であろう。「講師の指導力や態度」や「班の雰囲気や指導内容」などの班別講習に対する不満は少なく「技術の向上がなかった」という項目の数値が低くなっている。昨年度までは他学科の学生との交流することも考慮しひとつの班に5学科の学生を配置していたが、今年度はひとつの班には2～3学科の学生を割り振り指導員が指導しやすいように配慮したことや現地のインストラクターが指導したことが班別講習を円滑にし技術の向上に影響したものと考えられる。

冬期学校の満足度と他の項目との関係を見てみると、図6に示したように「指導者のスキー技術」については「満足派」も「不満足派」も認めている

表1 冬期学校で不満に感じたこと

	度数
講習時間が少ない	101
自由に滑れない	96
技術の向上がなかった	7
スノーボードができなかった	50
スキー以外の活動もしたかった	27
講師の指導力や態度	10
冬期学校の日程が短い	80
班の雰囲気や指導内容	6
班のメンバー構成	15
班の技術レベル	11
スキー場が物足りない	33
寒いこと	13
スキーに興味がない	4
自分の怪我や体調不良	4
自分の体力・身体能力	5
自由時間が少ない	56
宿舍の食事	38
宿舍の部屋・施設	25
宿舍の生活	14
部屋割り	43
行き帰りのバス	10
レンタル用具	10
学生同士の人間関係	6
教官の生活指導	21
とくに不満はない	8
その他	22
サンプル	177

ようだが、図7に示すように「指導者の指導力」については「満足派」は指導力があるとした者の比率が高いが、「不満足派」になると指導力があるとした者の比率が低くなっている。図8に示した「親しみやすさ」も同様な傾向を示している。また、図9に示すように保護者の関心度との関係を見ると、「満足派」は「保護者の関心度」が高いが「不満足派」は「関心度」がやや低くなってきている。

図10に示されている班ごとの満足度をみてみると、スキー技術のレベルが高い班になるにつれ満足度が減少する傾向がみられるが、特定の班に「不満足派」の割合が高くなっている傾向もみら

図6 スキー技術 / あなたは冬期学校に満足しましたか

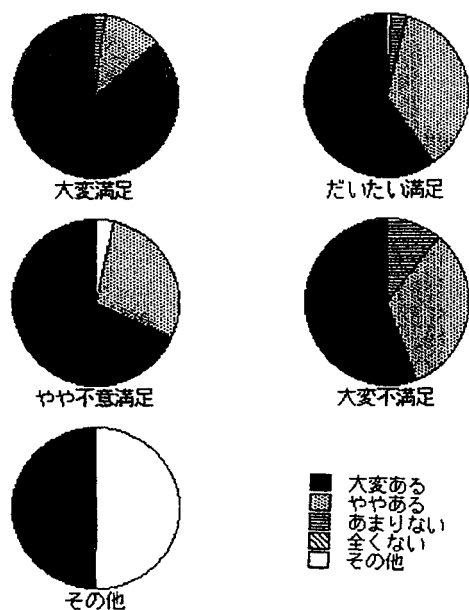


図8 親しみやすさ / あなたは冬期学校に満足しましたか

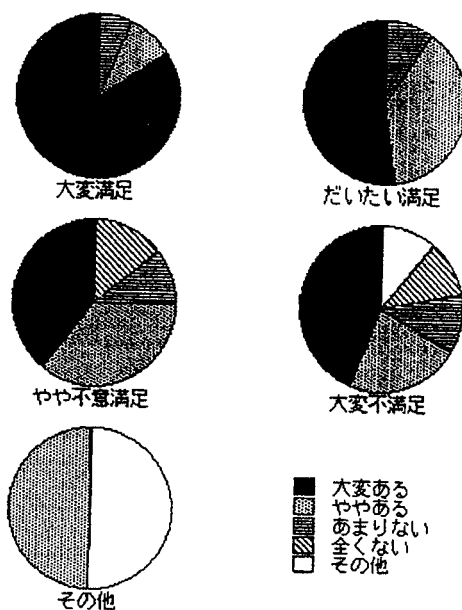


図7 指導者の指導力 / あなたは冬期学校に満足しましたか

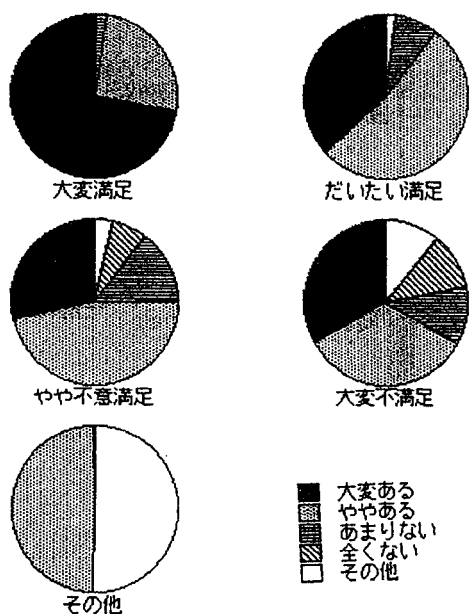
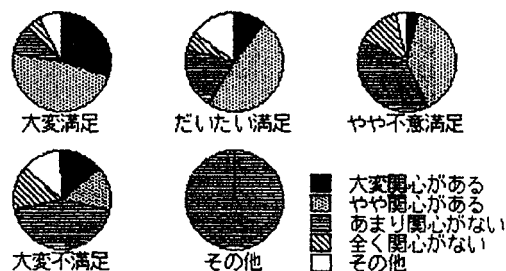


図9 保護者の関心度 / あなたは冬期学校に満足しましたか



れる。「不満足派」の多い班をみると図11に示すよう「指導力」と図12に示す「親しみやすさ」が低い値を示している。学生は指導者に対し技術より指導力や人柄などに求め、指導者は班の構成員との相性が指導を円滑に進めるためには必要であるようだ。

3. 2 冬期学校の日程、指導者、内容

「冬期学校の日程」の項目をみると、図13で示すように「費用の負担感」や図14に示す「疲労感」が影響しているようである。2泊3日で初心者指導が可能であることを考えると妥当なところであると思われる。

指導者については図15のようになっている。アンケートの結果では「高専の教官がよい」が14.1%、「インストラクターがよい」が52.8パーセント、「どちらともいえない」が33.1%となった。高専の教官は初心者班のみ担当したため全体の17%、インストラクターが83%を担当したことを考慮すると高専の教官への欲求があると理解でき学生と教官との交流が実施後の学校生活が円滑に営めるようになれば検討の余地があるのではないだろうか。

冬期学校でやってほしい内容としては、スノーボードをやってほしいという意見が一番多く、つ

図10 あなたは冬期学校に満足しましたか / 班

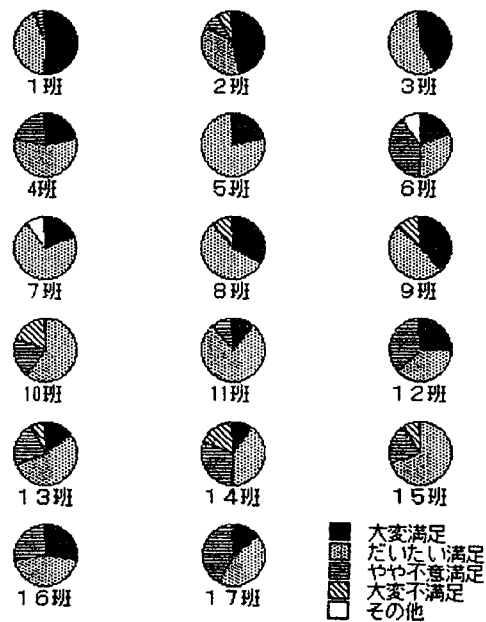


図12 親しみやすさ / 班

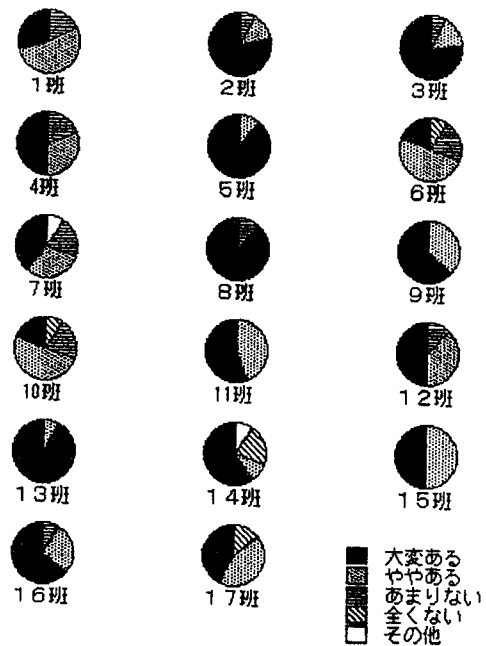


図11 指導者の指導力 / 班

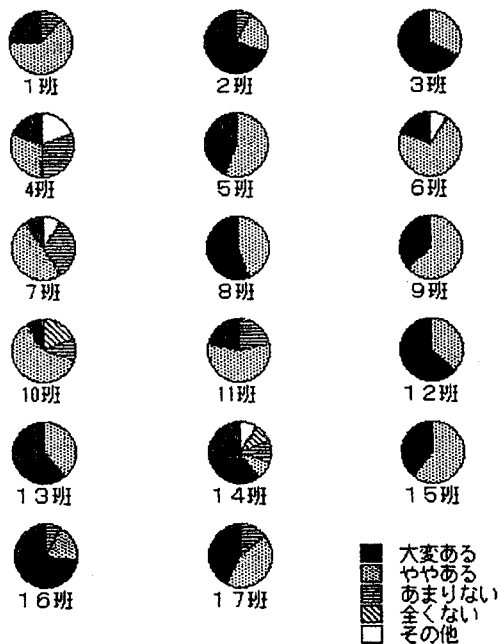


図13 参加費の負担感 / 冬期学校の日程

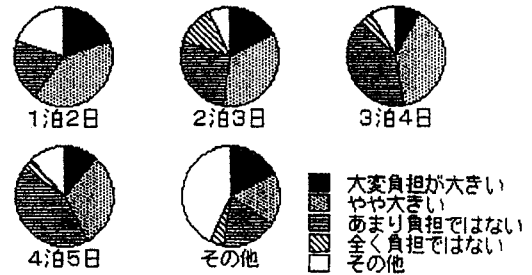
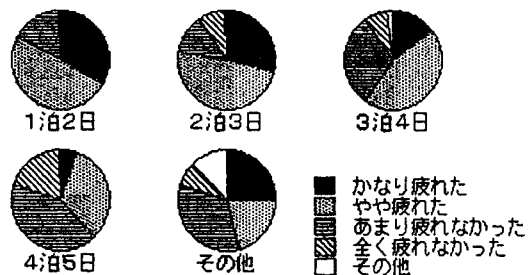


図14 冬期学校の疲労感 / 冬期学校の日程

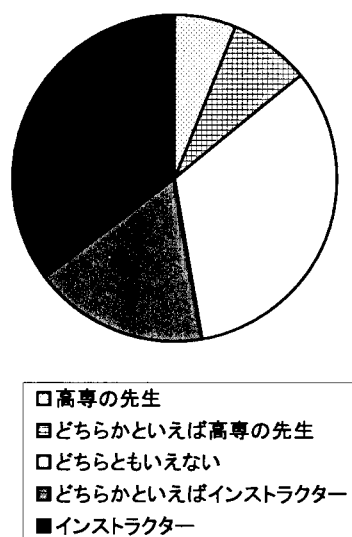


づいてショートスキー、モーグルが挙げられている。最近、若年層に人気の種目が並んでいる。また、雪像作りや雪上クッキングなどの雪上活動も挙げられている。このように冬期学校の内容としては多種多様化しているといえる。

4. まとめ

本校の冬期学校におけるスキー教室は、昭和40年の学校創立以来実施されてきた伝統行事である。スキーの指導には本校の教員が担当し体験的な活動を通じて学生相互及び教職員との親睦を深めてきた。しかし、平成13年度は形態を変え指導は初心者を除き現地のインストラクターが担当することになった。これにより学生と教員との交

図15 指導者はどちらがよいか



流の場が失われることになり教育的な意義が薄くなってしまうのではないかと心配された。本研究では参加学生の意識の実態を明らかにし、今後のスキー学校のあり方を検討するための基礎資料を得ることを目的としてきた。

スキー教室の満足感は、経験の少ない班のほうが高かった。これは形態を変える以前と同様な傾向を示していた。日程は2泊3日と1日短縮されたが天候、ゲレンデ状態にも恵まれ用具の進歩もあり初心者も満足するまでに至った。また、参加学生は「スキー体験そのもの」や「友人との交流」に楽しさを感じていた。不満の要因としては楽しいことを阻む要因でもある「講習時間が少ない」「自由に滑れない」「部屋割り」が挙げられていた。「スノーボードができなかった」という新しい種目への興味もうかがえた。また、「保護者の関心度」「指導者の指導力」や「指導者の親しみやすさ」などが影響していた。日程については「費用の負担感」

や「疲労感」が関連し2泊3日が適当であるようだ。指導者についてはインストラクターへの希望が高いが高専の教官への欲求もあり実施後の学校生活のことを考慮すると検討の余地がある。内容については多種多様な要望があり改善することも考えられるがスキー体験そのもとへの不満は少なかった。

冬期学校におけるスキー教室は参加学生にとって生涯に渡ってスキーに親しむ一つの契機となり実施後の学生生活に多大な影響を与えている。冬期学校がさらに有意義な行事となるように更なる検討を重ねていく必要がある。

参考文献

- 1) 古屋正俊 他, 「スキー教室参加学生の意識変容に関する研究」高専教育, 17:319-326, 1994.

(平成14年9月30日 受理)

東京高専生の体格・体力・運動能力の変化

黒田一寿*, 古屋正俊*, 鈴木智之*

Development of Student's Physique, Physical Strength and Athletic Ability

Kazutoshi KURODA, Masatoshi FURUYA, Tomoyuki SUZUKI

In this paper, we report the results of "Sports test" that carried out for the male student of Tokyo National College of Technology (TNCT). Analyzing these data, transition of Student's physique, Physical strength and athletic ability were clarified. The height of TNCT students (1 st grader) is higher than the national means (15 years) about 2 cm. As opposed to it, physical strength and athletic ability of this college students were also inferior to national means except agility at the time of a first grader. As a grade progresses, capability relevant to muscular strength was developed to a national means level in five years. But athletic ability, such as speed and aerobic fitness, is not fully developed. It is related to the custom of exercising of the students who do not belong to a athletic club. For us, It will be important how we provide them with the opportunity of physical activities and pleasure of a sport.

(Key words : physique, physical strength, athletic ability, custom of exercising)

1. はじめに

本校では開校以来、全学生を対象に文部省「スポーツテスト」を実施してきた。恒例となっている春先の測定は、おのおのが自身の体力・運動能力の現状を把握し、健康への関心を高めるうえでおいに役立っている。

1999 年度からは、測定項目の精選や簡便化が図られた「新体力テスト」に移行した。この変更により除外された種目については、蓄積されてきた経年変化の資料が途絶えてしまったものの、測定における参加者の負担は軽減され、汎用性の高い、取り組みやすいテストになったと言える¹⁾²⁾。

生涯にわたって健康で生き生きとした生活を送るために、基礎体力の充実はその礎となる重要な要素である。特に高専での 5 年間は、発育発達のにもっとも伸び盛りの時期にあたり、体力面でのポテンシャルを大きく引き伸ばす好機と言える。積極的な身体活動、スポーツ、トレーニングによって体力の向上を助長させ、同時に体を動かすことの楽しさを経験しながら、運動を習慣化させる契機としたい時期である。

本研究では、現時点における体力テスト最新データをもとに、本校男子学生の体格・体力・運動能力の実態を報告する。さらに、そこから見えてくる体力・運動能力の発達における課題を検討し、本校における体育教育の充実のために役立てることを目的とする。

2. 方法

2.1 体力テストの実施

測定は 1～5 年の全学生を対象とし、4～6 月にかけての体育実技の授業時間にて毎年継続的に実施した。測定方法は、1981～1998 年にかけては文部省スポーツテスト実施要項³⁾に準拠して行い、1999 年からは新体力テスト実施要項⁴⁾に基づいて実施した。

2.2 測定項目

(旧) スポーツテスト

1) 身体発育・健康診断調査項目

身長・体重・座高・その他健康診断項目

- 2) 体力診断テスト項目
反復横とび・垂直とび・背筋力・握力・
上体そらし・立位体前屈・踏み台昇降
- 3) 運動能力テスト項目
50M 走・走り幅とび・ハンドボール投げ・
けんすい・持久走
- 4) アンケート調査項目
生活・運動習慣に関する質問など 12 項目

(新) 体力テスト

- 1) 身体発育・健康診断調査項目
身長・体重・座高・その他健康診断項目
- 2) 新体力テスト項目
握力・上体起こし・長座体前屈・反復横とび・
持久走・50M 走・立ち幅とび・
ハンドボール投げ
- 3) アンケート調査項目
生活・運動習慣に関する質問など 12 項目

2.3 分析の観点

本研究では、本校在籍の男子学生を分析対象とした。同女子学生については機会を改めて報告したい。体格の分析には 1989～2002 年の男子学生身長・体重データを用いた。体力・運動能力の

現状については、2002 年度実施の体力テスト結果を用いた。また高専生の体力の推移を縦断的に分析するために、1998 年度入学男子学生の 5 年間にわたる体力テスト結果から 5 項目を抜粋し、考察を加えた。各分析で参考とした全国平均値および標準偏差は、文部省体育局「体力・運動能力調査報告書」⁵⁾に掲載された値を利用した。

3. 結果と考察

3.1 東京高専生の体格の推移

高専入学時における本校男子学生の身長・体重の年次推移を図 1 に示す。比較的小柄な年もみられるが、平均身長は概ね 169cm 前後で、同世代 15 歳男子の全国平均を上回る年が多い。体重はほぼ全国平均並と言えよう。また 5 年生男子学生の平均身長は 171cm あまりで、平均すると 5 年間で 2～3 cm の伸びをみせている。同世代 19 歳男子の全国平均もここ数年 171cm あまりで、入学時にみられた全国平均身長との差は縮まるが、順調な発育状況とみてとれる。

このように、身長・体重のデータから見る限り、本校男子学生の体格は同世代の男子と比べて決して見劣りしない恵まれた体格であると言えよう。また同時に、やや早熟な傾向もうかがえる。

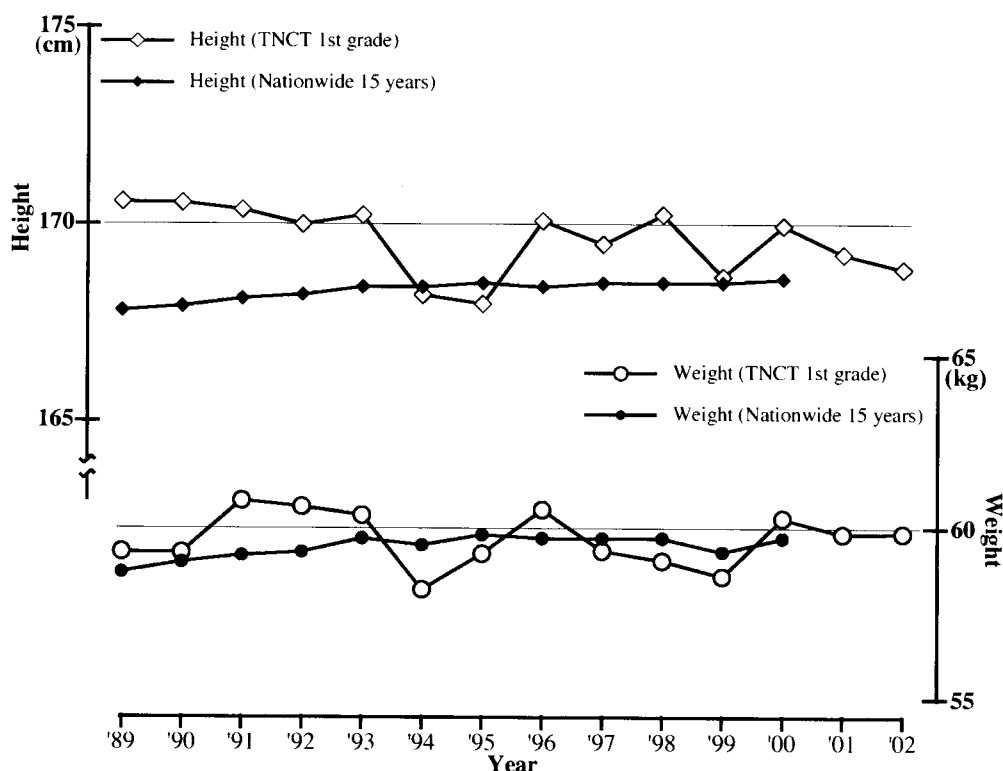


図 1 東京高専生（入学時）の身長・体重の推移と全国平均値（15 歳）

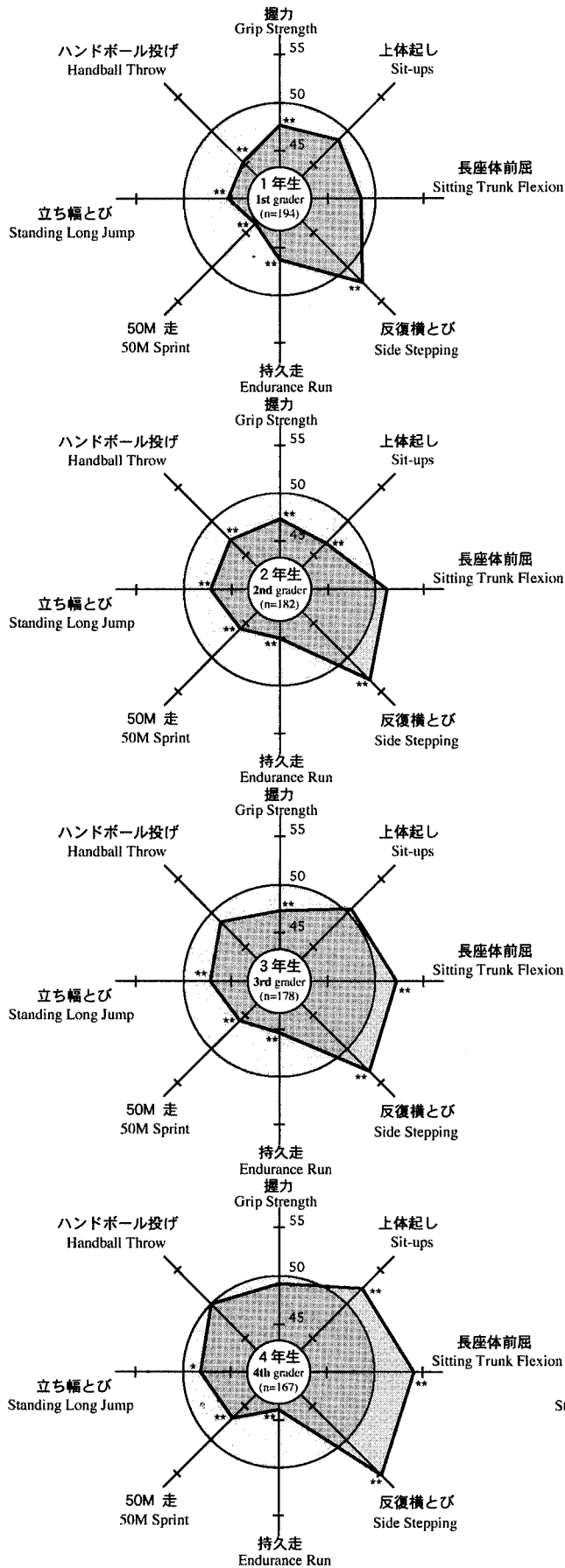


図2 学年別にみた2002年度体力テストの結果(値は全国平均値を50としたTスコア値)

3.2 学年別にみた体力テストの結果

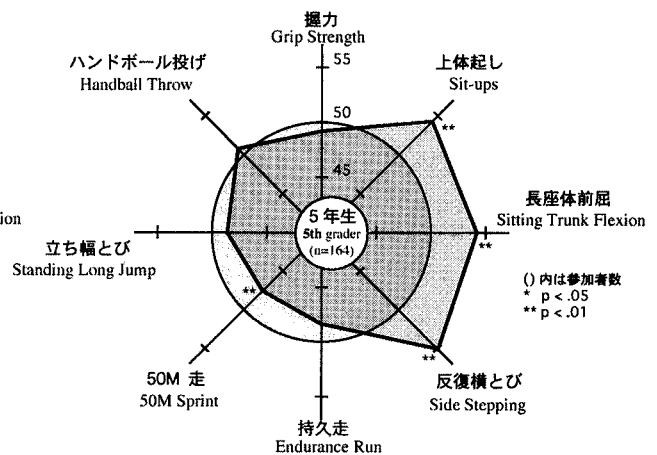
2002年度体力テストの結果を学年別に図2示す。このデータは、本校在学の男子学生の体力テスト結果を、同年齢男子の全国平均値(2000年度)が50、標準偏差が10となるように正規化したものである。いずれの種目も、50より値が大きいほど全国平均値と比べて相対的に優れていることを示し、同様に50より小さければ、全国平均より劣ることを意味する。

1年生は、敏捷性を示す反復横とびが全国平均よりも優れていたが、他の種目ではいずれも全国平均を下回った。全身の筋力とも関連のある握力や、50M走・持久走・立ち幅とび・ハンドボール投げといった種目において全国平均値との間に有意差がみられ、基礎運動能力全般の発達がやや小さいように思われる。

2・3年生も、やはり筋力・基礎運動能力を示す種目で全国平均より劣るものが多いが、柔軟性を示す長座体前屈と反復横とびは全国平均を上回った。加えて3年生は、ハンドボール投げや上体起しにおいて、1年生と比較すると全国平均との差が小さい。

4・5年生は、低学年に比べ全般的に全国平均と差が小さく、総合評価では、全国平均を上回っている。特に5年生の総合評価は全国平均よりも有意に優れた結果であった。

これらの結果をみると、高専生の体力・運動能力の特徴として、入学時には敏捷性以外の体力・運動能力全般が十分に発達しておらず、高専生活の中でそれを補うように発達させているのではないかと推察される。



() 内は参加者数
* p < .05
** p < .01

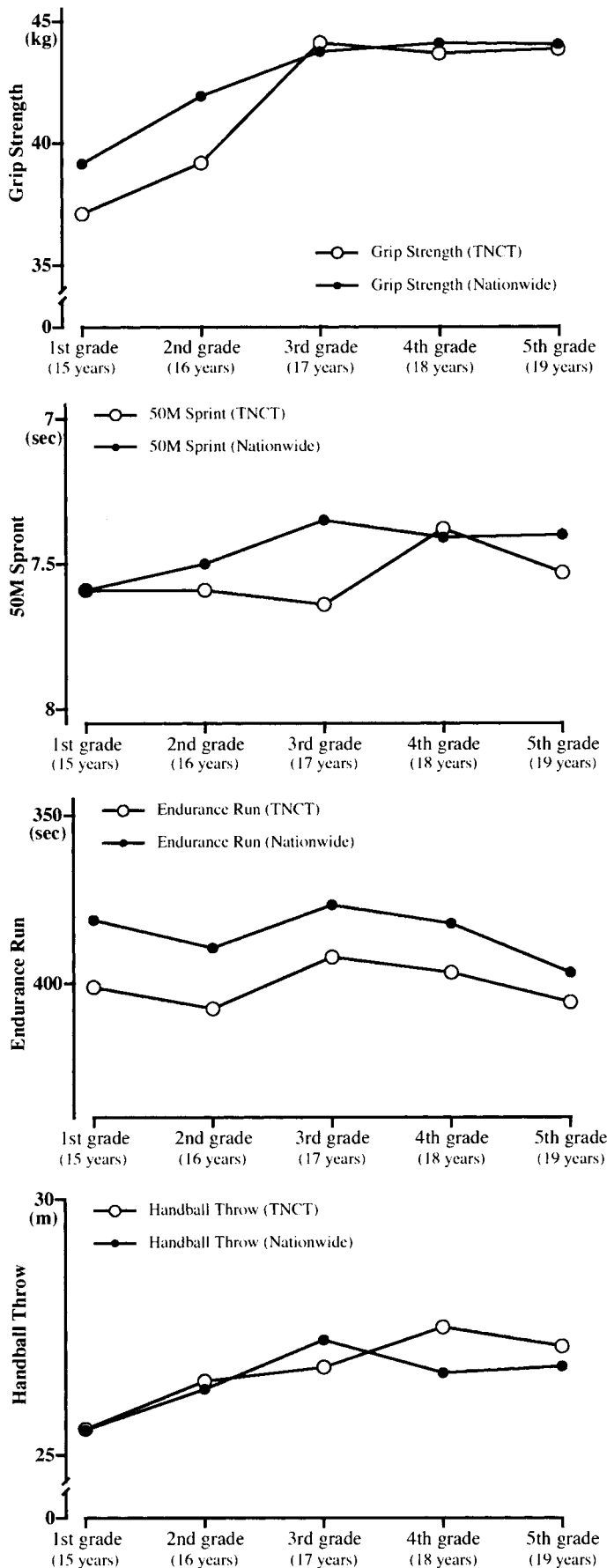


図3 平成10年度入学男子学生の体力テスト結果の推移

3.3 縦断的にみた体力・運動能力の推移

本校に入学してくる学生の体力・運動能力は、当然年ごとに違いがあり、学年進行に伴った体力・運動能力の推移を正しく把握するためには、同一集団を対象とした縦断的分析が必要である。そこで、平成10年度入学の男子学生（2002年度現時点における5年生）の体力テスト結果を追跡し、その推移を1年次から5年次まで学年進行に沿って種目別に表したものが図3である。ここでは、旧・スポーツテストより共通の4種目と、健康関連体力を表す指標⁶⁾として特異的な長座体前屈の結果を示した。

全身の筋力とも関連のある握力の推移をみると、1・2年次では全国平均より劣るが、3年次には急速に記録を伸して全国平均に追いついている。入学時において、体格には恵まれながら不足していた観のある筋力の発達、この時期に補われているように伸びている。

50M走は運動能力要素の1つであるスピードを表し、全国平均の推移から、15歳から17歳にかけて大きく発達することが確認できる。ところが、この時期高専生の記録は伸びておらず、代わりに3年次から4年次にかけて記録を伸ばした。

持久力を表す1500M走（持久走）では、加齢に伴う推移は全国平均と同様の変化を示しているが、高専生の記録は全体的に低調である。ただし、学年が進むにつれて全国平均との差は縮む傾向にある。

ハンドボール投げは、投動作に関連した巧緻性と筋パワーの大きさを表す。この要素については、全国平均との差も小さく、加齢に伴う推移もほぼ似通っている。

柔軟性を表す長座体前屈は、この平成 10 年度入学生が 2 年生の時に立位体前屈から変更され、測定項目として新たに設定された種目である。よって図にも 2 年次からの記録を示した。この種目では全国平均以上の値を示している。

3.4 運動系クラブ部員と未所属学生の比較

図 3 に示した本校男子学生の体力・運動能力の推移を、運動系クラブ活動との関連から見直し、図 4 に表した。ここに示した 5 種目全てにおいて、クラブ部員の記録が未所属の学生の記録を上回っている。ただし、これは当然予測された結果であり、ここでは年次推移に着目して考察を述べる。

握力・ハンドボール投げ・長座体前屈については、両群に能力の差はあるものの、未所属の学生も加齢にしたがって記録を向上させている。しかし 50M 走をみると、未所属の学生は 1 年次から 3 年次にかけて記録が下降しており、本来この時期に伸びるはずの運動能力が十分に発達していないことが分かる。持久走においても、未所属の学生は 1 年次をピークに、その後記録は伸びていない。

これらの結果から、本校男子学生の筋力を中心とした体力については、入学時には全国平均より劣るものの、加齢とともに発達し、

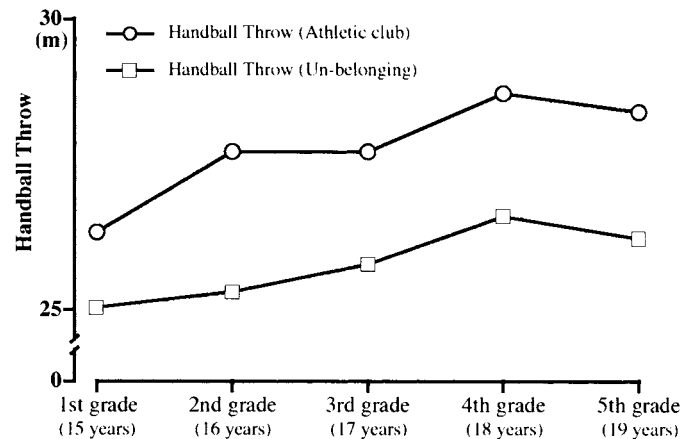
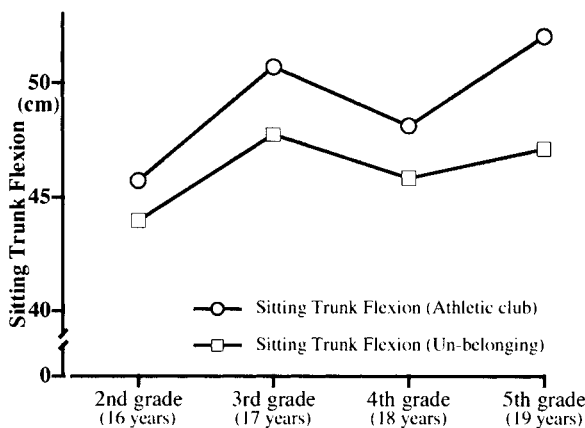
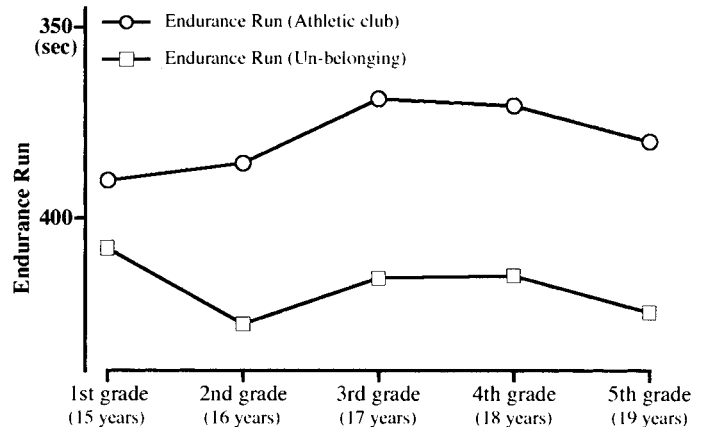
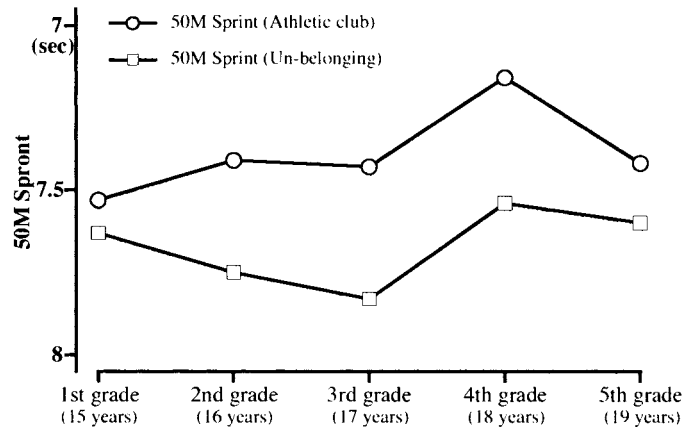
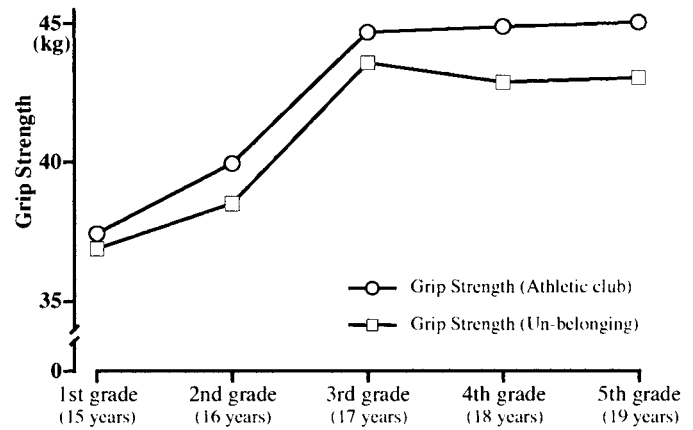


図 4 運動系クラブ部員と未所属学生の体力テスト結果の推移比較

卒業時には全国平均並に追いつくと言える。柔軟性については、入学時より全国平均との差はそれほど見られない。運動能力の1要素であるスピードと持久力については、クラブでの身体運動・トレーニングがその発達に大きく影響していると思われる。運動系クラブ部員以外の学生は、この走力に関連したスピードおよび持久力が、入学時より低下傾向にあり、高専に入学してからの身体運動・トレーニングの機会が十分でないことが推測される。この傾向は、本校男子学生全体の運動能力平均値を引き下げる原因ともなっている。

3.5 運動・スポーツ活動に対する意識

図5は、平成10年度入学の男子学生の運動・スポーツに対する興味・関心について、アンケート調査の結果を学年進行に沿って示したものである。運動・スポーツに対してネガティブな回答を下向きに、ポジティブな回答を上に向かって積み上げる形で表している。また、それぞれの回答における運動系クラブ部員と未所属学生の内訳も示した。

この図から、男子学生の6割から7割がスポーツに対して肯定的な態度を持っており、運動・スポーツに対するニーズは非常に高いと言える。また、こういった需要は、運動系クラブに所属して

いない学生においても高いことが分かる。スポーツに対してネガティブな学生は運動系クラブに所属していない学生で、その割合が入学時からあまり変化していないことから、運動・スポーツへの消極的態度が固定化してしまっていることが推察される。

図6は、運動・スポーツの実施頻度についてのアンケート結果である。図5と同様、平成10年度入学の男子学生の回答を、学年進行に沿って示している。運動系クラブに所属していない学生の運動頻度は非常に少なく、全く運動しないか、月に数回といった程度が多い。本校では週に1度は体育実技の授業があるが、この時以外ではほとんど運動をする機会がないということになる。

特に1年次の運動実施頻度が少ない結果となっている。体力テストが行われる春先の時点では、クラブ活動を始めている学生以外、体育施設の利用法も十分に把握しておらず、仲間づくりも途中で、うまく活用できていないことが影響しているのだろう。運動系クラブ部員は、4年次になると運動頻度が大きく減少しており、5年次でその傾向はさらに大きくなっている。これは、クラブ活動を引退し、学業や就職・進学活動に専念することから生まれる傾向であろう。

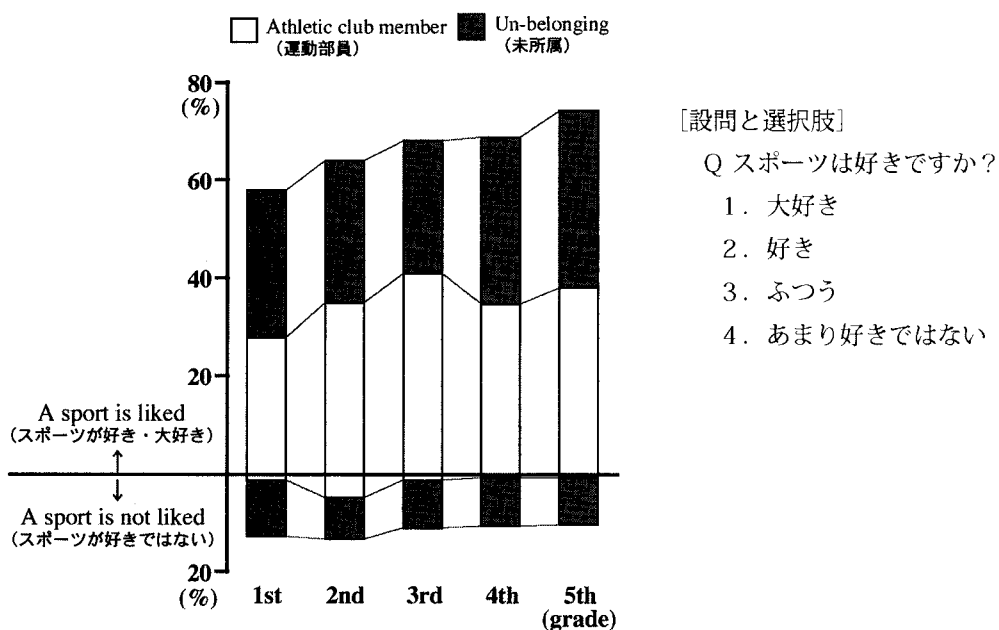


図5 スポーツに対する興味・関心（平成10年度入学生の回答の経年変化）

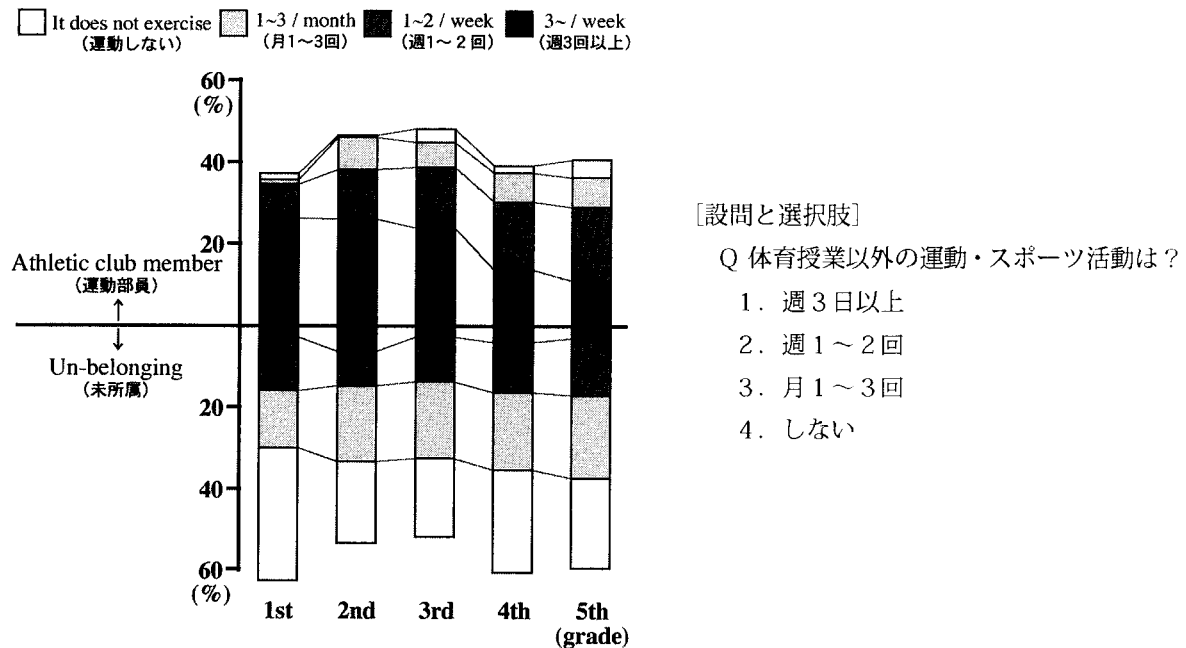


図6 運動・スポーツの実施頻度 (平成10年度入学生の回答の経年変化)

これら結果から、本校での運動・スポーツに対するニーズは高く、体育実技の授業以外に、こうした学生の運動欲求を満たす機会を提供してゆく必要があると言える。特に、運動系クラブに所属していない学生が、彼らのライフスタイルの中にいかに運動の習慣・文化を取り込んでゆくか、それをサポートする形でのサービスが必要であろう。特に本校では、低学年時における身体運動・スポーツの機会が不足していると思われるので、入学時より積極的に働きかけ、こういった機会に誘い出すことも必要かもしれない。また4年次以降の学生については、クラブを引退したり、就職・進学活動が忙しくなったりと時間的余裕は小さくなるものの、逆に運動・スポーツへのニーズは高まる傾向にある。これから、新カリキュラムへの移行で5年次の体育実技の授業がなくなることも考えると、ますます新しい形態での体育教育を考える必要に迫られているのではないだろうか。

4. まとめ

本校男子学生は、平均身長で全国平均を上回る恵まれた体格を有しており、入学後の身体的発育も良好である。しかし体力・運動能力の側面では、入学時より全国水準に達しておらず、やや線の細い印象がある。高専における5年間で、筋力を中

心とした体力要素は大きく向上するが、特に走力の1要素であるスピードと持久力については、全国水準よりやや劣る傾向にある。

これは、運動系クラブに所属していない学生の運動能力発達が十分でないことが影響している。アンケート調査の結果からも、運動・スポーツの実施頻度が非常に低いことが分かった。ただし、これら運動系クラブ部員以外の学生についても、運動・スポーツへの興味・関心は高く、「運動したい」という欲求は高い学生が多い。今後、体育実技の授業以外に、いかにして身体運動・スポーツ・トレーニングの機会と場を提供してゆくかが課題となろう。また、運動・スポーツを好まない学生層が固定化しており、これらの学生への働きかけも忘れてはならない。

現在、昼休みの体育施設解放や、学校行事・自主企画等によって身体運動・スポーツの機会を提供している。例えば、ここ数年で、昼休みの体育施設の利用頻度は非常に高まっている。また、5年生は体育実技の授業が前期で終了するが、空き時間を見つけては自主的にスポーツを楽しんでいる学生も見受けられる。

体育科スタッフとしても、より多くの学生に運動・スポーツの機会と場を提供できるよう、本校学生のライフスタイルの特徴を考慮した形で、さ

らに工夫した企画、サービスを充実させてゆきたいと考える。

参考文献

- 1) 青木純一郎, 新井忠: 文部省体力テスト再考, 体育の科学, Vol.47, No.11, pp.847-851, 杏林書院 (1997)
- 2) 小林寛道: 新体力テストのねらいと総括, 体育科教育, Vol.48, No.8, pp.38-41, 大修館書店 (2000.5)
- 3) 文部省体育局: スポーツテスト実施要項 (1961 ~)
- 4) 文部省体育局: 新体力テストー有意義な活用のために (1999)
- 5) 文部省体育局: 体力・運動能力調査報告書 (1989 ~ 2000)
- 6) 加賀谷淳子: テスト項目の解説, スポーツと健康, Vol.31, No.12, pp.19-30, 第一法規出版 (1999)
- 7) 古屋, 竹信, 鈴木: 本校学生の体力と運動能力の実態ー昭和 62 年度男子学生を対象として, 東京工業高等専門学校研究報告書, Vol.19 (1988)
- 8) 東京工業大学保健体育研究室: 東京工業大学学生の体力と体育・スポーツに対する態度の実態, 東京工業大学人文論叢, No.10 (1984)
- 9) 桐生武夫ほか: 本学学生の体力と意識についてー昭和 61 年度ー, 東京工業大学人文論叢, No.12 (1986)
- 10) 中国地区国立高等専門学校: 高専生の体力測定とそれに伴う体育教育の改善 (最終報告), 国立高等専門学校協会 教育方法改善共同プロジェクト (2001)

(平成14年 9 月30日 受理)

科学技術教育推進のための地域貢献事業実施報告

松林勝志*, 堤 博貴*, 小坂敏文**

Report of Projects of Contribution on the Community Education in order to Interest Children in Science and Thechnology

Katsushi MATSUBAYASHI, Hirotaka TSUTSUMI, Toshifumi KOSAKA

We held two projects of contribution to the community education. The intention of them was to interest children in science and technology. One was the support of the science education for a primary school, that is a one-day class making a science and technical object. The other was creating an object that is exhibited at a public science center. In the project we developed a special robot for children to learn science and technology by seeing, touching and playing. Bearing the reorganization our college into independent administrative corporations in mind, these projects are corporate effort and public relations activity on the management of our college and enlarge raison d'être of our college based on the community. It is very important for our college to implement projects like these. In this paper, these projects we have received high evaluation from the community are reported.

(Key words : Community Education, Contribution to the Community, Education of Science and Technology)

1. はじめに

地域貢献につながる科学技術教育推進事業を2件実施した。1件は小学校の理科体験教室支援であり、もう1件はこども科学館への展示物出展である。これらは学校運営上、本校の特色を生かした広報活動、企業努力として位置づけることができ、将来の法人化を念頭において、地域に根ざした学校としての存在意義を高めることにつながる。今後積極的に展開していくことが重要である。これら2件について、好評のうちに実施し、地域から高い評価を受けることができたので報告する。

2. 小学校理科体験教室

2.1 経緯

平成 13 年 9 月に、本校に隣接する梶田小学校三年生の保護者会より理科体験教室の支援要請があった。これは「梶田小学校3年生の保護者会」の企画であり、「“物造り”の学校である本校」の支援により、「授業のない土曜日を利用した小学校ではできない理科体験教室」を午後2, 3時間で実施したいというものである。

これに対して各学科から提案を持ち寄り、小学

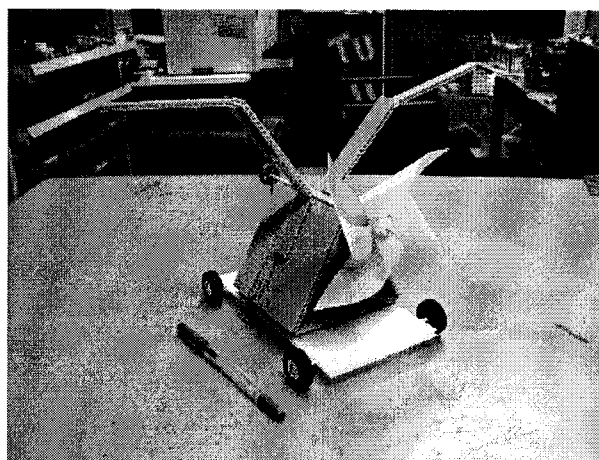


図1 体験教室で製作したウィンドカー

校側と懇談を行った結果、「風に向かって走るウィンドカー（図1）」をテーマとして実施することとなった。風に向かって走るという意外性のおもしろさ、適度な製作難易度、ウィンドカーのコンテストで優勝した学生グループ（堤教官主宰）による製作支援が可能であること、が評価された。

2.2 準備と当日の様子

(1)試作

参加人数は約 100 名、予算は 15,000 円（固定）+ α （参加者負担分）であることから、1 台当たり 200 円そこそこで作らなければならない。幸い小学校の科学教材メーカー¹⁾の代理店²⁾が本校のすぐ近くにあり、送料なしでパーツを仕入れることができた。また駆動力を伝達する輪ゴムについては、輪ゴムメーカー³⁾から必要な折径（100mm）のものを寄贈してくれることとなった。表 1 に部品一覧を示す。競技会（競争部門、デザイン部門）の商品代と、終了後に配布するジュース代を加え、1 台当たりのコストは 300 円となった。ウィンドカーの詳細は、製作マニュアルを Web 上に公開した⁴⁾のでそちらに譲る。

試作で最も工夫した点は、羽根車の回転力を車輪に伝える輪ゴムのテンション調整の方法である。弱いと輪ゴムが滑りプーリーが回らず、強いと軸をしなせ回転摩擦抵抗が増大し走らない。輪ゴムを切ったりつなげたりして長さを調整するのは、小学 3 年生では難しいので、羽根車の軸高を微妙に調整できる構造を考え、テンション調整できるようにした。図 2 に示した楕円部分の隙間を狭くすればテンションが強くなり、広くすれば弱くなる。この部分はシャーシに両面テープで張り付けているだけなので、剥がして再度張り付け直すことで簡単に調整できる。

(2) 小学 3 年生児童にできる作業

たとえば、プーリーの軸穴を竹籤の直径に合わせるため、ボール盤を使わせることは小学 3 年生には危険である。そこで、可能な作業をあらかじめ問い合わせた結果、次の回答を得た。

- ◎ハサミで線に合わせて切ることが出来る。
- ◎カッターはうまくないが使える。
- ◎コンパスは使える。

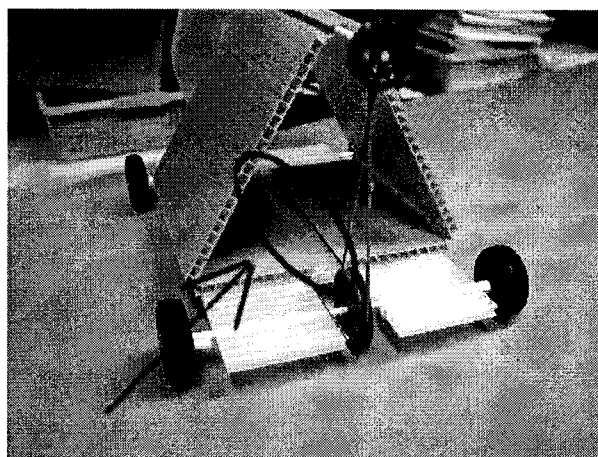


図 2 簡単に微調整可能なテンション調整

このことから、基本的にカッター作業は不用となるよう準備し、児童の作業は、次のように設定した。

- ①両面テープを所定の長さで切断／貼り付け
- ②ストロー、竹串を所定の長さで切断
- ③竹串をタイヤ、プーリーの所定の位置に差し込む
- ④色ペン、シール等を使ったデザイン

持ち物として、次のものをお願いした。

- ①筆記用具、②定規、③はさみ、④うちわ、⑤シール、⑥色ペン

準備の過程で出た材料の切れ端などの廃材は捨てずにとっておき、デザイン用に提供した。

(3) 会場

会場（大教室）の机の上には、生徒の座る場所にそれぞれ部品一式をあらかじめ置いておいた。配布作業の時間節約と配布中の紛失を避けるためである。また生徒が怪我をする場合も想定し、救急箱も用意した。その他、試走用に使う扇風機と、摩擦係数の高いエプトシーラーをベニア板に貼った競技会用ステージも準備した。

表 1 100 台あたりの必要部品一覧（車輪が最も高価）

品名	型番等	数量	使用場所	店	メーカー	税別単価	税込金額
プラスチック段ボール ブルー	910*1020	2	風車支え	ムラウチ		980	2058
プラスチック段ボール ホワイト	910*1020	1	シャーシ	ムラウチ		980	1029
プラスチック段ボール ホワイト	910*910	1	シャーシ	ムラウチ		580	609
PPフィルム（プラスチック板）	PF-14, 460*655	5	風車	ムラウチ		200	1050
生活良好 竹串	18cm	4	車輪軸、風車軸	アルプス	コプロ	118	495
まがるカーastroロー	φ6mm*21cm	3	車輪軸、風車軸	アルプス	大和物産	78	245
輪ゴム	□1.1mm, 折径100mm	4	動力伝達	メーカー直	共和	0	0
両面テープ	15mm*6m	10		ドンキ		98	1029
車輪	Φ3cm or 4cm	400	タイヤ	川口教材社	ダイワ	25	10500
プーリー	Φ2cm 506040	300	風車軸	川口教材社	ダイワ	8	2520
プーリー	Φ3cm 506041	100	風車軸	川口教材社	ダイワ	10	1050
合計							20585

(4) 学生と父兄の補助

製作補助をする学生グループには、あらかじめ1台ずつ製作してもらい、当日十分なスキルで臨んでもらった。興味を持った父兄（主にお父さん）からも指導補助の申し出があったので、開始1時間前に来てもらい、補助学生の手ほどきで1台ずつ組み立て、スキルを身につけてもらった。

(5) 当日の様子

当日の参加者は次の通りである。

児童：81名，保護者40名，
小学校関係者：5名（校長，教頭，教諭）
学生補助：11名
高専関係者：4名（教務主事，教官）

イベントの内容を示す。

- ①製作
- ②競技会
- ③デザインコンテスト
（審査員：梶田小校長，教務主事，
機械工学科主任）

児童10名に対し、1人ずつの補助の学生と父兄がついて製作を進めた。当初は父兄にしつけ面をお願いする予定だったが、児童は工作に熱中し、行儀も良く、無用の心配であった。

完成後の競技会では、うちわで一生懸命あおいでウィンドカーを走らせ、審判の声が聞こえないほどの応援合戦が繰り広げられた。強い風を起こせる男の子が有利というわけではなく、優勝したのは微妙な調整がうまくできた女の子であった。誰一人投げ出したり製作に失敗することなく、全員が完走できたことは特筆すべき事である。当日の様子は Web で公開⁹⁾している。児童が製作に熱中している間、興味のある父兄には、別室にて教務主事より本校の説明を行った。

(6) 終わってみて

子供達だけでなく、父兄・学生スタッフも含めた全員が楽しむことのできたイベントになった。子供達の素直さと物造りの意欲に驚かされただけでなく、組み立てスキルを高めた父兄が、補助学生以上に一生懸命に子供達に説明している姿も見受けられ、このような親子参加型の物造り教室の需要の高さを強く感じた。

後日、梶田小校長からのお礼状、児童、父兄の感想、担任の先生のコメントが届けられた。それらには次のことが綴られ、大成功であった。

- ◎ウィンドカー製作を楽しんだ感想
- ◎スタッフへの感謝・お礼
- ◎高専の学生への好印象
- ◎学年にあった教材レベルの適切さ
- ◎学校と地域が一体となった教育の重要性
- ◎高専の教育環境への高い評価

3. こども科学館への展示物出展

3.1 経緯

正式名称は「こども科学館地域大学等連携展示物製作委託事業」である。平成12年12月に内々の打診があり、平成13年3月に第1回の説明会がこども科学館で開かれた。

この事業は、

①八王子市の学園都市としての特色を生かし、

②地域の大学棟等と連携

し、

③開館以来更新されていない展示物の充実を図るというもので、

④地域に根ざした科学館としての役割を果たすことを目的としている。

本校以外の参加要請学校は、工学院大学、昭和第一学園高等学校、日本工学院八王子専門学校である。それぞれの展示物を表2に示す。

表2 各校の展示物

工学院大学	ライトレーサ、マイクロマウス
昭和第一学園高等学校	ソーラーカー
東京工業高等専門学校	光通信オムニホイールロボット「ジグザグ君」
日本工学院八王子専門学校	自分の顔がキャラクターになるテレビゲーム

3.2 本校の提案

本校では依頼を受けて、各学科主任を通じて公募が行われ、機械工学科制御工学実験室で卒論テーマとしてロボットを製作することとなった。

(1) コンセプト

コンセプトは次のように設定した。

- ①見るだけでなく楽しめること
- ②見学者が操作できること
- ③どこの家庭にもあるものでその動作原理を実感できること
- ④簡単に壊れないこと
- ⑤研究色を薄めたものにする
- ⑥大げさな構成にしないこと
- ⑦科学好きな少年が少しがんばれば作れるかもしれないと思う内容にすること
- ⑧新規技術開発が少なく済む内容であること
- ⑨特別費用のかかる技術を使わないこと
- ⑩高専生の手には負えないものではないこと
- ⑪既製品でなく学生の手作りであること

(2) テーマ

製作物のテーマは次の通りである。

- ①身近な光通信（赤外線通信）を見せて体験（ロボコンへの技術提供も兼ねる）
- ②オムニホイールロボット（3自由度独立駆動型全方向移動ロボット）
- ③ロボット搭載のカメラで記念写真撮影（アミューズメント）

平成 13 年 6 月の第 2 回の打ち合わせ時に、科学館への提案した概要を図 3 に示す。光通信はこの家庭にあるテレビリモコンの赤外線通信を取り上げ、ロボットとコントローラの通信の様子を CCD カメラと液晶テレビで観察できるようにすることを考えた。

オムニホイールを 120 度毎に 3 軸配置された台車（図 4）は、平面内の全方向に加速が可能である。この技術は車いすへの応用が研究されたり、パワーアシスト配膳車に実用化されるなどしてい

る⁶⁾。制御工学実験室では、2 次元倒立振り子を実現するなどすでにいくつかの実績⁷⁾⁸⁾⁹⁾があった。

3.3 実施形態

この事業を受けるにあたり、

- ①会計法上、自治体から国の機関に対して、寄付することができない（委任経理金としての奨学寄付金の受け入れができない）。

- ②製作したものを自治体に寄付できない。

という制約から、無償の非常勤講師として兼業許可を申請し、本務勤務時間後に製作を行った。

3.4 製作した展示物

ロボットの愛称は、その特徴的な動きから、科学館職員の提案により”ジグザグ君”と名付けられた。ロボット本体を図 5 に示す。誰でも操作しやすくするため、このロボットのコントローラに

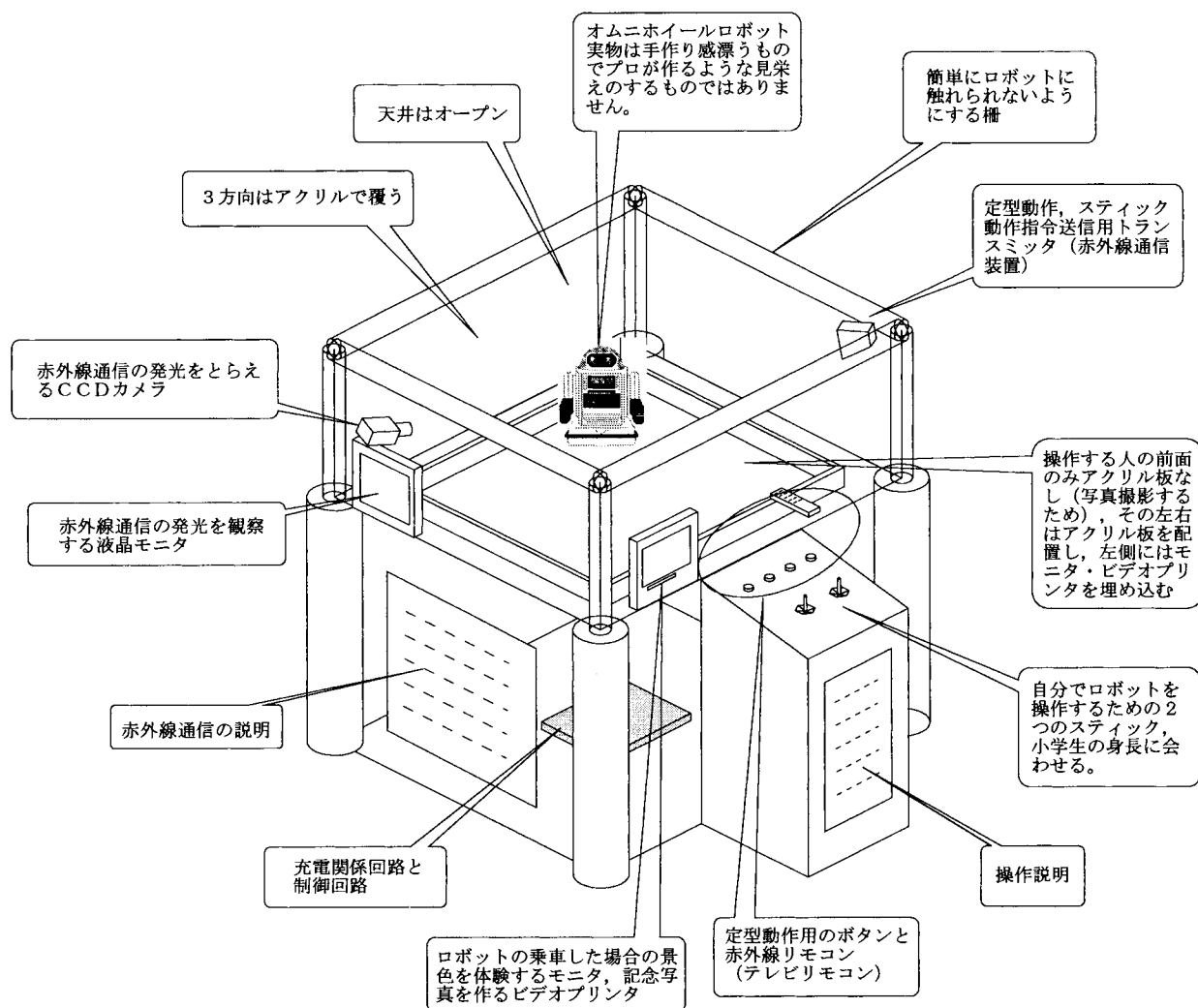


図 3 こども科学館に提案した概要

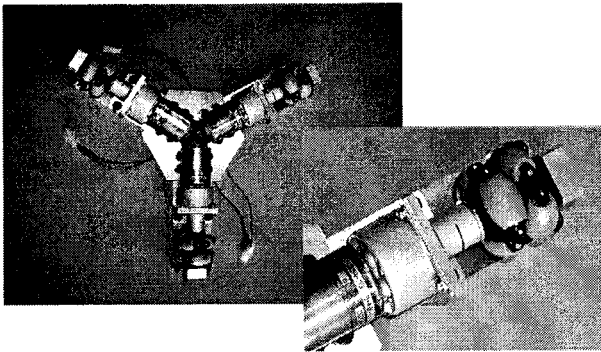


図4 オムニホイールを使った台車

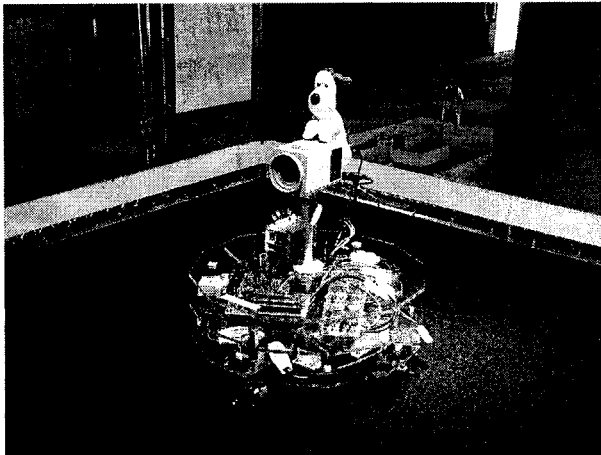


図5 ロボット”ジグザグ君”本体

は、世界的に普及しているプレイステーション用ゲームパッド(図6)を採用した。また、どのような操縦をしても、ロボットが壁にぶつからないように測長センサが内蔵され、プログラミングされている。ロボットの詳細や科学館での展示の様子は、卒業論文¹⁰⁾としてもまとめられ、インターネット上にも公開¹¹⁾しているのでそちらに譲る。

3.5 副産物

この製作協力で、開発した赤外線通信技術は、本校のロボコンゼミに提供し応用され、NHK高専ロボコン 2001 の全国大会に見事出場し、活躍した。

プレイステーションゲームパッド制御のための基礎技術は逆にロボコンゼミより提供を受けたが、さらに発展させ、H8 マイコン用ライブラリとしてまとめた。このライブラリはロボットを開発する学生や研究者にとって有用であるので、(株)ベクターのサイトに登録し公開した¹²⁾。すでに多数ダウンロードされている。

授業に対しては、機械工学科のメカトロニクス実習マイコン編の教材として、これらの技術を還

図6 プレイステーションゲームパッド
”デュアルショック”

元した。

4. まとめ・感想

地域貢献につながる科学技術教育推進事業を2件実施し、地域から高い評価を得た。小学校の理科体験教室では、競技会で実績のある学生グループの補助を得て、風に向かって進むウィンドカーを製作した。こども科学館からの展示物製作依頼では、光通信コントローラにより来館者が自由に操作できるオムニホイールロボットを卒業論文の一環として製作した。

従来、公開講座等で補助学生を頼む場合は、個別に学生に要請し、個人的に図書券等を配ることが多かった。しかし、今回はその考え方をやめ、補助をお願いした学生グループに、僅かではあるが活動予算を付けることができた。「個人に駄賃」方式でなく、頑張っている組織に予算を付ける考え方であり非常に教育的である。物造りに限らず、例えばスポーツ教室を開いた部に通常予算以外の活動予算をつけることが実施できれば、地域貢献だけでなく、学生の活動意欲の向上につながるはずである。

独立行政法人化を控え、地域に根ざした学校としての存在意義を高めることは急務である。今回実施したような地域貢献事業は、ジャブのような効果を持つ中学校訪問や学校説明会とは違い、口コミやホームページの広報等で徐々に広がり、確固とした存在価値が形成されていくボディブローのような効果が期待できる。広報活動・企業努力として位置づけ、相談されるのを待っているのではなく、本校から積極的に提案していくことが今

後重要になってくるはずである。

地方と異なり、理系の大学が多い環境に存在する本校では、研究費や共同研究・受託研究の受け入れはある意味競争が激しいといえる。もちろん、大学と競合・競争しながらも地域の企業とのつながりを深めていくことは必要不可欠であるが、大学より敷居が低いという高専の特長を生かし、地域とのつながりを深め、教育面での存在価値を高めていくことも法人化に向けた一つの重要な施策であると考えられる。

参考文献

- 1) (株) 大和科学教材研究所, 大阪府大阪市平野区流町 4-6-13, Tel:06-6709-2864(代)
<http://www3.famille.ne.jp/~dkkp/menu.html>
- 2) (有) 河口教材社, 東京都八王子市めじろ台 3-6-10, Tel:0426-61-3351
- 3) (株) 共和, 〒 557-0051 大阪市西成区橘 3-20-28, Tel:06-6658-8211,
<http://www.kyowa-ltd.co.jp/japanese/index.html>
- 4)
<http://www2.tokyo-ct.ac.jp/users/m/matsu/windcar/windcar.html>

5)

<http://www2.tokyo-ct.ac.jp/users/m/matsu/windcar/kunugidaelementaryschool.html>

6)車輪型移動ロボットの最新動向ー全方向移動車を中心としてー, 2001 年 6 月, (社) 日本ロボット学会

7)栗山啓, 谷上哲也, 自立型二次元倒立振り子の制御に関する研究, 平成 11 年度東京高専卒業論文

8)松添淳一, 自立型二次元倒立振り子の制御に関する研究, 平成 12 年度東京高専卒業論文

9)

<http://www2.tokyo-ct.ac.jp/users/m/matsu/robot/robot.html>

10)蘇武恵介, ホノロミックな全方向移動台車に関する研究, 平成 13 年度東京高専卒業論文

11)

<http://www2.tokyo-ct.ac.jp/users/m/matsu/zigzag/zigzag.html>

12)

<http://www.vector.co.jp/soft/other/h8/se217061.html>

(平成14年 9 月30日 受理)

再帰呼び出しによる多元トラヒックの評価アルゴリズム

林 善 士*

Algorithm of Traffic Evaluation Method for Multi-slot Call Models Employing Recursive Calls

Zenji HAYASHI

In multimedia-network engineering, methods of evaluating the quality of service (QOS) of multi-slot call traffic models are becoming more important. Although the evaluation procedures of Kaufman⁽²⁾ and Conradt et al.⁽³⁾ are well known, they have some limitations when applied to traffic models. To solve this problem, the author proposed recursive calculation procedures⁽⁴⁾. In this paper, the computer software for the application of recursive calls to the procedures of ref. (4), and the difference in algorithm between ref. (4) and the proposed method are described. The recursive calls are efficient for the procedures of ref. (4) from the viewpoint of the computer software simplicity.

(Key words : network engineering, multi-slot call traffic model, evaluation method)

1. はじめに

現在インターネット等のデータトラヒックが急速に増えている。これらのデータトラヒックに対しては様々な通信品質が要求されると考えられる。ある程度厳しい通信品質を必要とする通信に対しては、多元トラヒックの損失式⁽¹⁾が有効である。

多元トラヒックの損失式に関する計算アルゴリズムとしてはKaufman⁽²⁾の方法及びConradt等⁽³⁾の方法が知られている。前者の方法については回線数及び呼量を大きくとることが難しいこと、後者については回線数及び呼量は大きくとれるものの、速度が最小である呼種のサイズが1の場合に限定されているという問題がある。これら2つの方法の具体的な手順及び問題点の所在については、2. で詳しく述べることにする。これに対して文献(4)は、上記2手法を改良した方法を提案している。本論文は、文献(4)のような複雑な論理構造をもつ計算アルゴリズムでは制御構造を単純化することが肝要であり、再帰呼び出しの関数を用いることにより、プログラムがより容易に、簡明に実現できることを示す。また、再帰呼び出しを用いる時にしばしば生じる計算時間の伸長を防ぐための制御方法についても言及する。

2. では評価モデルと従来の評価法における問題点を示し、3. では文献(4)における算出手順の概要と、同手法と比較しながら本論文での提案手法について説明する。

2. 評価モデルと従来の評価法における問題点

従来手法について説明する前に、トラヒックモデル及び記号等について定義する。

[トラヒックモデル]

トラヒックモデルを図1に示す。図中呼種 $i(1 \leq i \leq k)$ において、 m_i は呼のサイズ (または速度) で、 A_i は加わる呼量である。本論文での説明を簡単にするため、 $m_1 < m_2 < \dots < m_k$ とする。また、全体のサーバ (または回線) 数は N とする。モデルは、サイズ m_i を持つ呼がランダムにサーバに到着するものとし、到着した時サーバに m_i 以上の空きがあればサービスを開始し、空きが m_i 未満であればその系から退去する即時 (または損失) 系である。サービス時間は指数分布に従うものとするが、一般分布でも、以下の内容は成り立つことが知られている⁽⁵⁾。

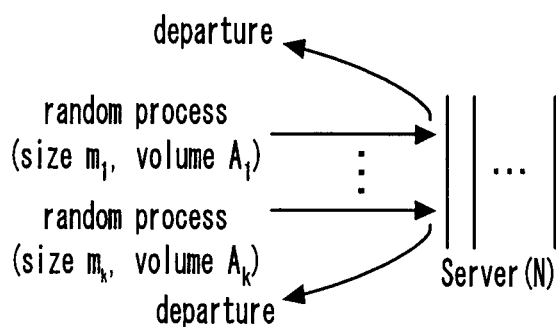


図1 トラヒックモデル

Fig.1 Traffic Model

マルチメディアネットワークでは、各呼種の呼損率をそれぞれどのように設計・管理するかが重要な運用上の課題である。各呼種ごとの呼損率を設計・管理するには上述の式を効率的に計算する必要がある。この方法としては、文献(2), (3)の方法が知られている。文献(2)の方法は、(1)最初に $P(0)$ ($P(i)$ は、サイズ1に換算した総同時接続数が i での状態確率)を仮の値 (例えば1) に設定、(2) $P(1), P(2), \dots$ の順に同時接続数の小さい状態から順々に仮の $P(i)$ を計算、(3)全状態について合計値を計算、(4) 合計値を用いて正規化して最終的な状態確率を計算 からの手順により求めるものである。しかしこの方法は、単一の呼種 (アーランの損失式に一致) の場合に実際に計算してみると、 $P(0)$ の初期値を十分に小さくとっても、(2)の段階で回線数及び呼量が1500を越えると仮の $P(i)$ がオーバーフローしてしまい、従って数値計算の精度が劣化してしまうという問題がある。

これに対し、文献(3)の方法は状態確率ではなく、呼損率を直接計算するための漸化的手法を提案している。しかしながら当該手法では $m_1 = 1, A_1 > 0$ であることが必要条件となっている。マルチメディアネットワークでは、一番速度の遅い呼のサイズ (速度) が1でなければならないという制約条件は現実的ではない。

文献(4)は上記の2手法での問題点を解決したもので、サーバ (回線) 数 N も文献(3)と同程度に大きくすることができ、またサイズ1の呼の呼量 A_1 が0 (サイズ1の呼種が加わらない) の場合も扱うことができるように拡張している。次章では文献(4)の手法を概説するとともに、その中で用いられる関数に対し、本論文で提案する再帰呼び出しによる手法を示す。

3. 算出手順の概要⁽⁴⁾

3. 1 記号

サイズ1の呼種が加わらない場合 ($m_1 > 1$) の多元トラヒックモデルでは、状態確率が0となる総同時接続数が存在する。以下、本論文では、総同時接続数 $X = m_1 X_1 + m_2 X_2 + \dots + m_k X_k$ ($0 \leq X \leq N$) となる状態の集合を、簡単のため1つの状態 X として表す (x_i は各呼種別の同時接続数)。但し、状態 X として、上述したような確率

が0となるものを含めて考えるものとする。本論文では総同時接続数及び状態に同一の変数を用いても誤解を生じないので、変数 X は便宜的に総同時接続数及び状態の双方を表すものとする。また総同時接続数が X である状態確率を $P(X)$ と表す。

Ω_0, Ω_1 を次のように定義する。

$$\begin{cases} \Omega_0 = \{X \mid P(X) = 0\} \\ \Omega_1 = \{X \mid P(X) > 0\} \end{cases} \quad (1)$$

次に、 Ω_1 の要素を新たに $\{X_i\}$ ($0 \leq i \leq n, X_i \in \Omega_1$) と記述することにする。トラヒックモデルによって、これら状態の中で最大の総同時接続数である X_n は必ずしも回線数 N とは一致するとは限らない。

3. 2 呼損率の算出手順

以下に算出の手順を示す。式の導出及びその解説については文献(4)を参考されたい。

[手順1]

以下で定義される1パラメータの関数 $\delta(X)$ を定義する。

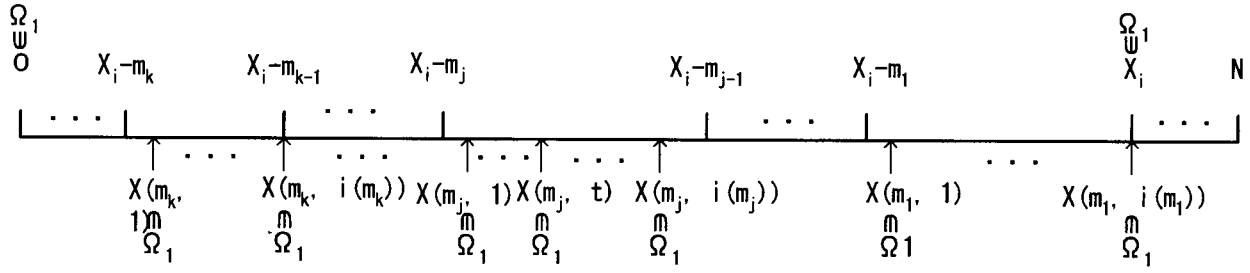
$$\delta(X) = \begin{cases} 0 & X \in \Omega_0 \\ 1 & X \in \Omega_1 \end{cases} \quad \text{のとき} \quad (2)$$

[手順2]

任意の総同時接続数 $X_i \in \Omega_1$ に対して、次式で与えられる関数 $c(X_i)$ を求める。

$$c(X_i) = \frac{P(X_i)}{P(X_{i-1})} \quad X_i, X_{i-1} \in \Omega_1 \quad (3)$$

$c(X_i)$ の算出手順を示す前に、算出式で用いる変数について説明する。 Ω_1 の要素 $X_i (X_i \in \Omega_1)$ に対して、 X_i と $X_i - m_1, X_i - m_2, \dots, X_i - m_k$ との関係を図2に示す。いま、 $(X_i - m_1, X_i]$ に Ω_1 の要素数が $i(m_1)$ 個あったとし、同様に $(X_i - m_2, X_i - m_1], \dots, (X_i - m_k, X_i - m_{k-1}]$ に Ω_1 の要素数が $i(m_2), i(m_3), \dots, i(m_k)$ 個あったとする。次に、各 $(X_i - m_1, X_i]$ 及び $(X_i - m_j, X_i - m_{j-1}]$ ($2 \leq j \leq k$) 間の Ω_1 の状態に対して、 $\{X(m_j, t)\}$ ($1 \leq t \leq i(m_j), 1 \leq j \leq k$) のよ

図2 X_i , X_{i-m_j} と $X(m_j, t)$ との関係Fig.2 Relation X_i , X_{i-m_j} and $X(m_j, t)$

うに新たに状態の番号を付与する。なお、 $X(m_j, 1)$ は X_{i-m_j} よりも大きい Ω_1 の最小の状態とし、 $X(m_j, i(m_j))$ は $X_{i-m_{j-1}}$ よりも大きくない Ω_1 の最大の状態とする。従って、 $X(m_1, i(m_1)) = X_i$ である。

(1) $X_i (\in \Omega_1)$ の要素に対し、 $c(X_i)$ は以下に示す式で与えられる。

$$\begin{aligned} X_i \cdot c(X_i) = & \prod_{t=1}^{i(m_1)-1} c^{-1}(X(m_1, t)) \{ \delta(X_{i-m_1}) \times A_1 m_1 + \\ & \prod_{t=1}^{i(m_2)} c^{-1}(X(m_2, t)) \{ \delta(X_{i-m_2}) \times A_2 m_2 + \dots \\ & + \prod_{t=1}^{i(m_j)} c^{-1}(X(m_j, t)) \{ \delta(X_{i-m_j}) \times A_j m_j + \dots \\ & + \prod_{t=1}^{i(m_k)} c^{-1}(X(m_k, t)) \{ \delta(X_{i-m_k}) \times A_k m_k + \dots \} \} \} \\ (1 \leq i \leq n) \end{aligned} \quad (4)$$

但し、 $c^{-1}(s) = 0$ ($s \leq 0$)

(2) $X \in \Omega_0$ に対しては、 $c(*)$ は定義しない。

[手順3]

(1) $X_i (\in \Omega_1)$ に対し、以下に示す手順で関数 $d(X_i)$ の値を求める。

$$d(X_i) = 1 + c(x_i)^{-1} d(X_{i-1}) \quad (1 \leq i \leq n) \quad (5)$$

$$d(X_0) = 1 \quad (6)$$

但し、 $X_i (\in \Omega_1)$

(2) $X \in \Omega_0$ に対し、 $d(*)$ は定義しない。

[手順4]

状態確率 $P(X_n)$ を $d^{-1}(X_n)$ で与える。

[手順5]

サイズ m_i の呼種の呼損率 B_{mi} を次式で与える。

$$B_{mi} = d^{-1}(x_n) \{ 1 + c^{-1}(X_n) \{ 1 + c^{-1}(X_{n-1}) \{ 1 + \dots c^{-1}(X_{t+1}) \} \dots \} \} \quad (7)$$

ここに、 X_t は $X_n - m_i + 1$ よりも大きく、かつ $X_t (\in \Omega_1)$ となる最小の総同時接続数とする。従って X_{t+1} は X_t の次に大きい Ω_1 の状態である。

4. 再帰呼び出しによるフローチャート

4.1 フローチャート

再帰呼び出しを用いたフローチャートを先に示し、次にその留意点について述べる。

[手順1]

$\delta(X)$ の設定方法としては、次式を用いればよい⁽²⁾。

$$X \cdot P(X) = \sum_{j=1}^k A_j \cdot m_j \cdot P(X - m_j) \quad (8)$$

即ち式(8)において、状態 $X_j - m_j$ ($1 \leq j \leq k$) のうち少なくとも1つが Ω_1 の要素であれば、状態 X_j を Ω_1 を要素として $\delta(X_j) = 1$ とすればよい。図3に再帰呼び出しを用いたアルゴリズムを示す。ここで再帰呼び出しの関数名は $\text{state}()$ としている。図3から明らかなように、 $\text{delta}(0)$ の戻り

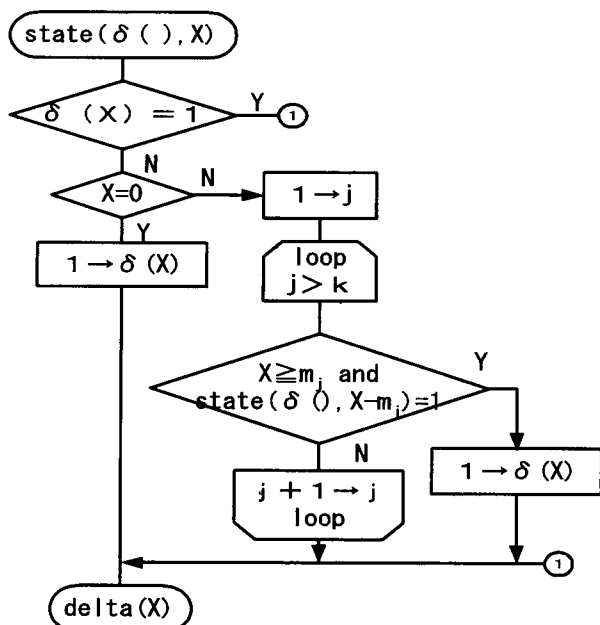


図3 手順1のフローチャート
Fig.3 Flowchart of procedure 1

値を1とするだけで、再帰呼び出しを用いることにより極めて簡単に $\delta(X)$ の値を設定出来るのが分かる。

〔手順2〕 式(4)の $c(X_i)$ は一見複雑な式になっているが、入力パラメータ s がある呼種のサイズとなっている時はその呼種の呼量を与え、それ以外の時は0を与える関数、即ち $A(m_1) = A_1$, $A(m_2) = A_2, \dots, A(m_k) = A_k$, $A(s) = 0$ (その他)となる関数 $A(s)$ を用意することによって、比較的簡単なアルゴリズムで実現可能である。 $c(*)$ を算出するためのフローチャートとして、文献(4)の例を図4に示す。また再帰呼び出し関数を用いた、本論文提案のアルゴリズムを図5に示す。同図で再帰呼び出しの関数名は $cal_c()$ としている。

〔手順3～5〕

文献(4)と同じであるので、ここでは省略する。

4. 2 再帰呼び出し関数の特徴と留意点

再帰呼び出しの関数を用いることにより、プログラム上面倒な繰り返しブロックの数を削減することができること、各種条件による分岐が可能となっている。本論文のように複雑な計算手順の制御には、適用可能であれば再帰呼び出しが有効である。筆者が図4及び図5の2つをプログラム化した実感では、図4、図5の順にコーディングしたことにもよるが、後者のものは前者のものに比

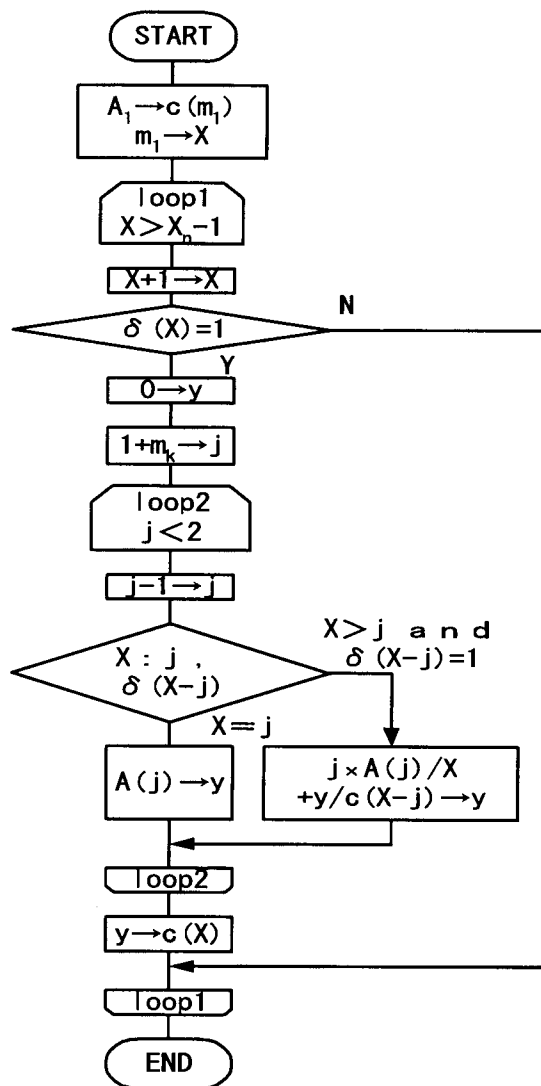


図4 文献[4]手順2のフローチャート
Fig.4 Flowchart of ref. (4) procedure 2

べて極めて短い時間で作成できている。

また、図5のように一つの関数から複数の関数を再帰的に呼び出す場合は、一つの関数が他のいくつかの関数から呼び出されるため、一度実行した関数は実行済みであることを示す履歴を残すことにより計算時間が伸長するのを防ぐことができる。図3では $\delta(X) = 1$ となっているかどうかを判断することにより、一度実行した X に対しては二度目以降実行しなくてもよいようにしている。また同じように図5では $c(X) > 0$ かどうかにより、これを判断している。このためmain関数ではすべての $c(*)$ に対し初期値として負数を与えた。

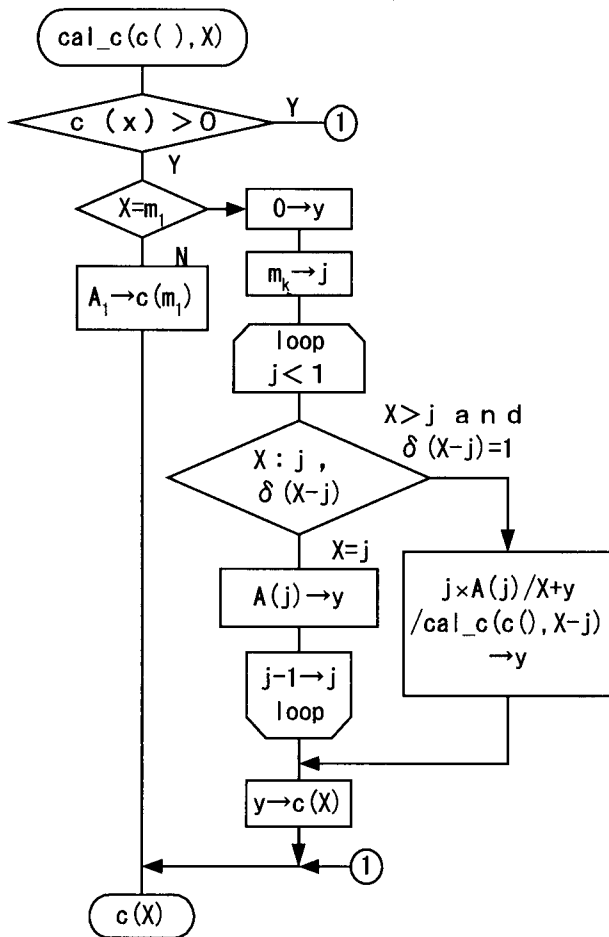


図5 再帰呼び出しによるフローチャート

Fig.5 Flowchart of procedure 2 by recursive calls

5. あとがき

本論文はノトラヒック評価に関する一般化アルゴリズムについて提案した。通信トラヒックの利用形態の高度化・多様化に伴って、速度（帯域）の異なるトラヒック混在するようなモデルのトラヒック評価法が極めて重要となってきた。このような評価法はATM（非同同期転送モード）やMPLS（マルチプロトコラブルスイッチング）のように各コネクションに対して品質を何らかの形で保証するような通信形態には不可欠であり、今後トラヒック工学上従来のアーランの損失式に匹敵するような重要な評価法になると考える。

多元トラヒックの計算法に関しては文献(2), (3)による方法が有効であるが、前者の方法は速度（帯域）が大きな場合数値計算が困難であり、後者はモデル上で使用するトラヒックの速度に制限

がある等の問題がある。一方、ネットワークのリンク（回線）もますます高速化してきており、速度（帯域）が大きな場合にも適用可能な計算手法が臨まれている。更に適用できるトラヒックに制約があるのは、トラヒック工学上極めて不都合である。

このような観点から文献(4)は、高速な帯域を持つ回線に対しても適用可能で、またトラヒック上も上述したような制限を持たない汎用的なトラヒック評価法を確立することを目的として評価アルゴリズムを提案している。これに対し本論文は、文献(4)のアルゴリズムに対して、再帰呼び出しの関数を用いることにより、プログラム（アルゴリズム）が極めて簡単に実現できることを示した。また、再帰呼び出しを用いる時にしばしば生じる計算時間の伸長を防ぐための制御方法についても示した。

筆者が、再帰呼び出しの関数を用いないもの、及び用いたものの2種類をコーディングした実感では、後者のものは前者のものに比べて極めて短い時間で作成できた。この理由の最大の理由は再帰呼び出し関数を適用したことによる制御構造の単純化があげられる。

本論文では、多元トラヒックにおいて品質（呼損率）評価における一般化アルゴリズムを述べた。一般に多元トラヒックでは、トラヒック特性が大きく異なるトラヒックが混在すると、他のトラヒックを圧迫する場合があることが知られている。このような現象は本論文で述べたような速度（帯域）が異なる場合に、その現象は著しいと考えられる。このため、それぞれの呼種の品質を一定値以下に抑えるような、何らかのトラヒック制御法が必須になると考える。このような制御を実施したネットワークのトラヒック評価法としては、現在状態方程式等が主に用いられており、評価に時間を要する。残された課題として、上述した制御法等での設計法及び評価法の確立がある。

参考文献

- (1) 秋山 稔：通信網工学，コロナ社，1994.
- (2) J. S. Kaufman：Blocking in a Shared Resource Environment, IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. COM-29, No. 19,

Cctober(1981).

(3) J. Conradt and A. Buchheister :

Considerations on Loss Probability of

Multi-slot Connections, 11th International

Teletraffic Congress(1985), Kyoto, pp. 815-821.

(4) 林善士: 異速度呼混在の即時系モデルにおける
計算アルゴリズムとその近似計算法、電子情報通
信学会論文誌, Vol. J85-B, No. 5, pp. 768-776,
2002.

(5) 藤木 正也、雁部 颯一: 通信トラヒック理
論, 丸善, 1980.

(平成14年 9 月24日 受理)

入力の振幅情報を考慮する複素ニューロン

青 木 宏 之*

A Complex-Valued Neuron Using Input Amplitude Information

Hiroyuki Aoki

Networks composed of complex-valued neurons have an advantage in dealing with multi-valued information such as gray-scale image data. This paper is intended to propose a novel complex-valued neuron in order to develop complex-valued neural network applications. Renewing states of the neuron presented in this paper depends upon both phase and amplitude of complex-valued input, while renewing states of conventional complex-valued neurons we have already proposed is determined by only phase of input. Introducing such neuron enable us to expand neural network applications for image processing.

(Key words : complex-valued neuron, image processing, phase, amplitude)

1. はじめに

複素ニューロンはその状態を複素平面上の単位円周上にとることができる, その位相にさまざまな情報を乗せることができる[1][2][3]. 我々は既に複素ニューロンから構成されるネットワークの応用として, 図 1 に示すような濃淡画像連想メモリを提案している[4][5]. 濃淡画像連想メモリは大きく分けて前処理, 複素ニューラルネットワーク, 後処理の 3 ブロックより構成される. 入力された画像データは前処理の中で 2 次元離散フーリエ変換処理がなされ位相の情報に変換される. 複素ニューラルネットワークは位相情報を処理し, その位相情報は後処理の中で 2 次元離散逆フーリエ変換処理されて最終的な出力画像が得られる. 既に提案している連想メモリでは前処理部分を数値的な計算処理により実現していたが, 本報告では前処理部分にも新しい複素ニューロンを導入し複素ニューラルネットワークによる処理を実現する.

2. 画像の位相行列表現

複素ニューラルネットワークを画像処理に応用

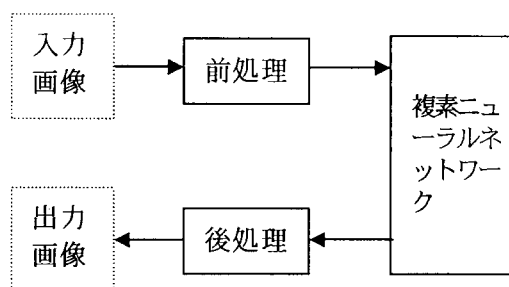


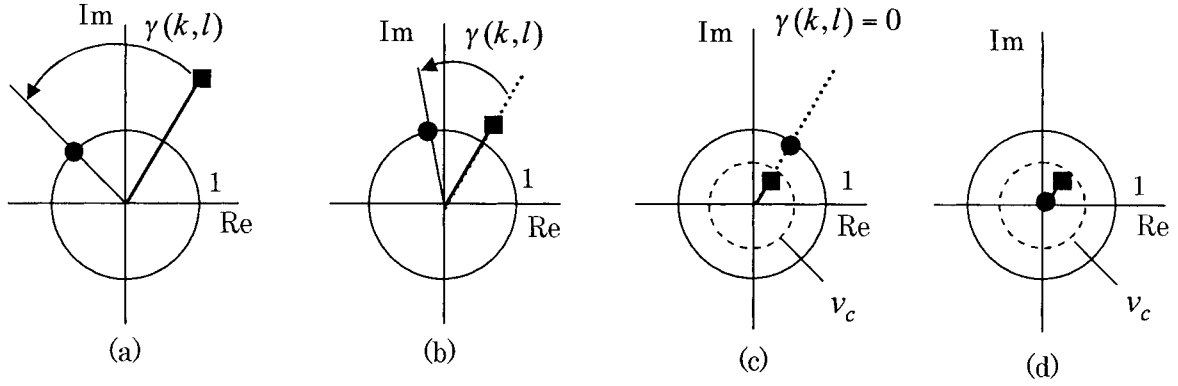
図 1 濃淡画像連想メモリの基本構成

するためには, 画像が位相のみの情報で表現されると都合がよい. そこで, 我々は画像を位相のみの成分行列(以下これを画像の位相行列と呼ぶ)として表現する手法を以下のように提案している[4].

$M_L \times N_L$ の画像 $\mathbf{u} = \{u(m, n)\}$ の 2 次元離散フーリエ変換を $\mathbf{v} = \{v(m', n')\} = DFT(\mathbf{u})$ と表すとき, 画像 $\mathbf{u}$ の位相行列 $\mathbf{x}_{phase} = \{x_{phase}(m', n')\}$ は次式で与えられる.

$$x_{phase}(m', n') = \exp(i(\alpha(m', n') + \gamma(m', n'))) \quad (4)$$

ここで, α, γ は次式で与えられる.



■ : input
● : renewed state

図 2 入力の振幅情報を更新状態に反映させる複素ニューロン
(a): 入力の振幅が大きい場合 (b): 入力の振幅が小さくなった場合 (c): 入力の振幅が小さく位相シフトが発生しない場合 (d): 休止状態をとる場合

$$\alpha(m', n') = \arg(v(m', n')), \quad (5)$$

$$\gamma(m', n') = \cos^{-1}(|v(m', n')| / |v_{\max}|) \quad (6a)$$

または,

$$\gamma(m', n') = \sin^{-1}(|v(m', n')| / |v_{\max}|), \quad (6b)$$

$$|v_{\max}| = \max\{|v(m', n')|\}; \quad (7)$$

$$0 \leq m' \leq M_L - 1, 0 \leq n' \leq N_L - 1$$

一方、位相行列 $\mathbf{x}_{\text{phase}}$ から元の画像 $\mathbf{u}$ は以下の式を用いて復元される。

(1) $\gamma(m', n')$ として式(6a)を用いた場合は,

$$\mathbf{u} = |v_{\max}| \operatorname{Re}\{IDFT(\mathbf{x}_{\text{phase}})\} \quad (8a)$$

(2) また、式(6b)を用いた場合は,

$$\mathbf{u} = |v_{\max}| \operatorname{Im}\{IDFT(\mathbf{x}_{\text{phase}})\} \quad (8b)$$

である。ここで、 $IDFT$ とは 2 次元離散逆フーリエ変換を表し $\mathbf{u} = IDFT(\mathbf{v})$ であり、 Re は複素数の実部を、 Im は複素数の虚部をそれぞれ取り出す操作を表す。

3. 入力の振幅情報を考慮する複素ニューロン

以降、本論文では $\gamma(m', n')$ として式(6b) を、元画像 $\mathbf{u}$ の復元式として式(8b) を用いる場合を考え

る。式(6b) は $|v_{\max}|$ を十分大きくとれば、次式で近似される。

$$\gamma(m', n') = |v(m', n')| / |v_{\max}| \quad (9)$$

これより、位相行列を得る式(4) は次のように変形される。

$$x_{\text{phase}}(m', n') = \exp(i(\arg(v(m', n')) + |v(m', n')| / |v_{\max}|)) \quad (10)$$

式(10) から、 $v(m', n')$ を複素ニューロンへの入力と考え、入力の振幅 $|v(m', n')|$ に比例して位相がシフトされて出力 $x_{\text{phase}}(m', n')$ が与えられるような複素ニューロンモデルを考えることができる。

更に、入力の振幅に対してあるスレッシュホールドを考え、入力の振幅がそれ以下の大きさである場合、シフトする位相を 0 に、または休止状態とするような複素ニューロンモデルを考えることができる。すなわち、 v_c をスレッシュホールドとすると、

$$x_{\text{phase}}(m', n') = \exp(i(\arg(v(m', n')))) \quad (11)$$

$$\text{if } |v(m', n')| < v_c$$

または

$$x_{\text{phase}}(m', n') = 0 \quad \text{if } |v(m', n')| < v_c \quad (12)$$

である。図 2 にこうした複素ニューロンの状態更新のようすを示す。■印が複素ニューロンへの入

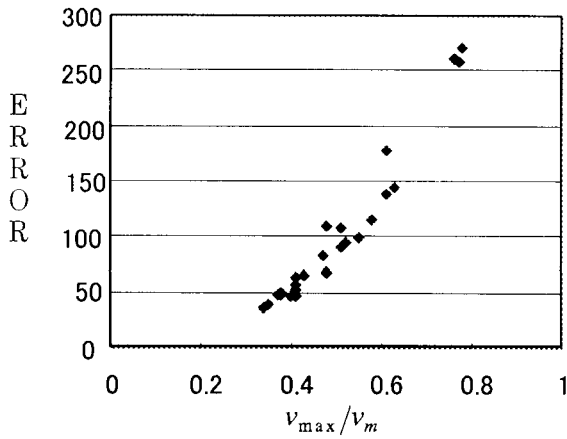


図3 元画像と複素ニューロンにより表現された画像との誤差

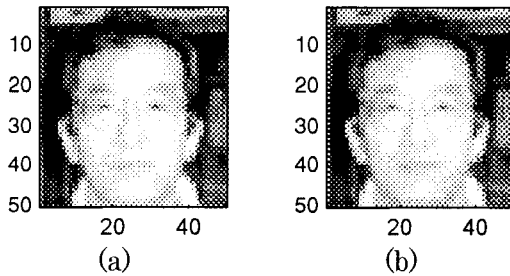


図4 (a) 元画像の例 (b) 複素ニューロンにより表現された画像 ($v_{\max}/v_m = 0.78$, $ERROR = 271$)

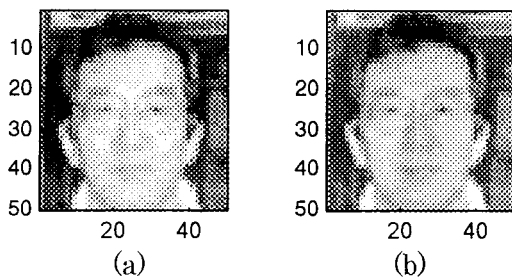


図5 複素ニューロンにより表現された画像
(a) $v_{\max}/v_m = 1.21$, $ERROR = 632$
(b) $v_{\max}/v_m = 1.94$, $ERROR = 1445$

力を表す. 図 2(a) は大きな振幅をもつ入力を与えられた場合で, 比較的大きな位相シフト操作が行われてニューロンの新しい更新状態 ●印 が決まる. 図 2(b) は(a) に比べると入力の振幅が小さい場合で, (a) に比べて小さな位相シフト操作に

より更新状態が決められる. 図 2(c) (d) は入力の振幅の大きさがスレッシュホールド v_c より小さい場合で, (c) は位相のシフト操作は行わず入力の位相をそのまま新しい状態とし, (d) は休止状態(モデルに休止状態を追加している)としている.

4. 複素ニューロンによる画像表現能力のシミュレーション

図 2 で示した入力の振幅情報を考慮する複素ニューロンモデルは, 式(9) による近似を用いて簡略化されている. そこで, このモデルの画像表現能力についてシミュレーションを行い調べる.

画像のサイズが 50×50 で 256 値の主に入りの顔を写した濃淡画像 25 枚について調べた. まず, $|v_{\max}|$ の値は個々の画像により異なるため, 全画像に対して共通に適用できる $|v_{\max}|$ の値として v_m を別に定めることとする. v_m は全ての画像の $v(m', n')$ に対して, $|v(m', n')|/v_m \ll 1$ となるように設定することが必要であるが, v_m が大きくなりすぎると式(9)による位相シフトの大きさ $\gamma(m', n')$ が小さくなりすぎてしまいあまり好ましくない. v_m は適度な大きさとして決めることが必要である. そこで, 画像毎の $|v_{\max}|/v_m$ を基準として, この値が変化したときどの程度画質に影響を与えるか調べた. ここでは, $v_m = 2500$ と設定し, 全ての画像について元画像と複素ニューロンにより表現された画像との誤差を計算した. 誤差 (ERROR) の計算式は次式を用いた.

$$ERROR = \sqrt{\sum_m \sum_n (u_{recon}(m, n) - u_{org}(m, n))^2}$$

この結果を示したものが図 3 である. 最も誤差の大きかった画像は, $|v_{\max}|/v_m = 0.78$ の場合で $ERROR=271$ であった. その場合の元画像と複素ニューロンによる表現画像を図 4 に示す. 特に, 複素ニューロンによる表現画像の画質の劣化は見られない. また, 図 5 に v_m の値をより小さくして $|v_{\max}|/v_m$ の値が 1 を越えてしまうような場

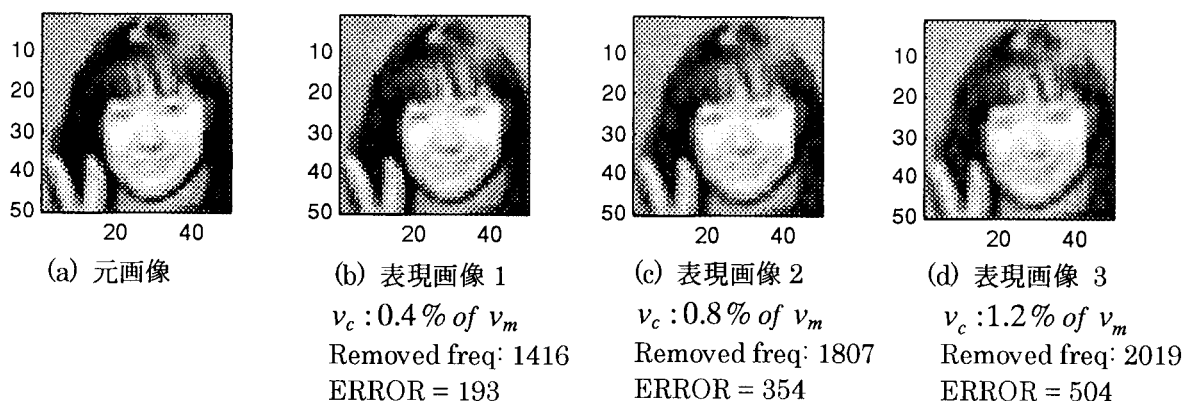


図 6 スレッシュホールド v_c を変化させたときの複素ニューロンにより表現される画像

合についても調べた. $|v_{\max}|/v_m = 1.21$ 程度でもさほど画質の劣化は目立たない. これらのことから $|v_{\max}|/v_m$ の値として設定できる許容範囲は広く, さまざまな画像に対して式(9)による線形化, 簡略化は実用上有効と考えられる.

次に v_c の値の影響について調べる.

$|v_{\max}|/v_m = 0.48$ である画像について, v_c を変化させた場合の複素ニューロンによる表現画像の変化の様子を図 6 に示す. 図 6 では全周波数成分 2500 のうち取り除かれた成分が, (b) 1416, (c) 1807, (d) 2019 である. 特に, 図 6(c) では全体の 72% の周波数成分が取り除かれたことになるが, 複素ニューロンによる表現画像に目立った画質の劣化は見られない. v_c の設定により, 小さなエネルギー成分をもつ周波数成分を容易に取り除くことができる.

4. まとめ

入力の振幅情報を考慮して自身の状態に反映させる複素ニューロンモデルを提案し, 単純に入力の振幅の大きさに比例して位相をシフトさせる近似モデルが濃淡画像を表現するうえで実用上有効であることを示した. この複素ニューロンモデルを使用するためには, 全ての画像に共通なパラメータ v_m の設定が必要であるが, 個々の画像の差異による影響はあまり気にすることなく v_m を設定することができる. 更に, スレッシュホールド

v_c を活用することにより, 小さなエネルギー成分をもつ周波数成分は容易に取り除かれる. 我々がこれまでに述べてきた複素ニューロンの画像処理への応用では, 個々のニューロンは画像の各周波数成分の情報を位相情報として保持するため, 位相シフト操作によりその大きさを調節することができる. この性質を活用して位相シフト操作による画像のフィルタリング処理も容易に実現される.

参考文献

- [1] A.Hirose, Proposal of fully complex-valued neural networks, Proc. IJCNN 92, Vol V, pp.152-157, Baltimore, 1992.
- [2] Igor Aizenberg, Naum. Aizenberg, Joos Vandewalle, Multi-Valued and Universal Binary Neurons, Kluwer Academic Publishers, 2000
- [3] 青木, 複素数体上に拡張したホップフィールド連想記憶の平衡状態の解析, 信学論, Vol. J78-A, No.9 pp.1238-1241, Sep 1995
- [4] H. Aoki, MR.Azimi-Sadjadi and Y. Kosugi, Image Association Using a Complex-Valued Associative Memory Model, IEICE Trans., Vol.E83-A, no.9, pp.1824-1832, Sep.2000.
- [5] H. Aoki and Y. Kosugi, An Image Storage System Using Complex-Valued Associative Memoies, in Proc. International Conference on Pattern Recognition Barcelona, Vol II, pp.626-629, Sep.2000.

(平成 14 年 9 月 28 日 受理)

H-surface の方程式に対する Plateau 問題と Dirichlet 問題

拜 田 稔*

Plateau problem and Dirichlet problem for H -surface equations

Minoru HAIDA

Gulliver and Spruck extended Hidebrandt's existence theorems [10], [11] for parametric surfaces of prescribed mean curvature by using Serrin's existence theorem [13] for non-parametric surface of prescribed mean curvature. In this report, we will extend their results by using Giusti's existence theorem [5], which is an extension of Giaquinta [4], for non-parametric surfaces of prescribed mean curvature. We will use isoperimetric conditions in the sense of Steffen [14, (0.5)], [15, (3.6)], who extended Wente's theorems [17].

(Key words : H -surface, mean curvature, Caccioppoli set)

1 序論

定義 1.1 $R > 0$ と $n \in \mathbf{N}$ に対し、 $B_R^n := \{x \in \mathbf{R}^n; |x| < R\}$, $B_R := B_R^3$, $\omega_n := |B_1^n|$ とおく。 Ω は $\mathbf{R}^n$ 内の開集合とし、 $f \in L^1(\Omega)$ とする。このとき、

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} |Df| &:= \sup \left\{ \int_{\Omega} f \operatorname{div} g \, dx; g \in C_0^1(\Omega; \mathbf{R}^n), |g(x)| \leq 1 \text{ for any } x \in \Omega \right\}, \\ \int |Df| &:= \int_{\mathbf{R}^n} |Df| \end{aligned}$$

と定義する。さらに、 E は $\mathbf{R}^n$ 内のボレル集合とするととき、

$$\varphi_E(x) := \begin{cases} 1 & \text{if } x \in E \\ 0 & \text{if } x \in \mathbf{R}^n \setminus E \end{cases}$$

と定義する。もし、 $\mathbf{R}^n$ 内の任意の有界開集合 Ω に対して $\int_{\Omega} |D\varphi_E| < \infty$ ならば、 E をカシオッポリ集合という。

定理 1.2 (Giusti [5]) $n \geq 2$ とし、 Ω は、リプシッツ連続な境界 $\partial\Omega$ を持つ $\mathbf{R}^n$ 内の開集合とする。このとき、方程式

$$\operatorname{div} \frac{\nabla u}{\sqrt{1 + |\nabla u|^2}} = H \text{ in } \Omega \quad (1.1)$$

が解を持つための条件は、 $A \subset \Omega$ 、 $A \neq \phi$ 、 $A \neq \Omega$ をみたす任意のカシオッポリ集合 A に対して、

$$\left| \int_A H(x) \, dx \right| < \int |D\varphi_A| \quad (1.2)$$

が成り立つことである。

補題 1.3 (Giusti [5]) 定理 1.2 の仮定の下で、空でない任意の集合 $A \subset \Omega$ に対して (1.2) が成り立つとする。このとき、ある正の数 ϵ_0 が存在して、任意のカシオッポリ集合 $A \subset \Omega$ に対して、次の不等式が成り立つ：

$$\left| \int_A H(x) dx \right| \leq (1 - \epsilon_0) \int |D\varphi_A| \quad (1.3)$$

補題 1.4 (等周不等式) $n \geq 2$ とし、 E は $\mathbf{R}^n$ 内の任意のカシオッポリ集合とする。このとき、次の不等式が成り立つ：

$$|E|^{\frac{n-1}{n}} \leq \frac{1}{n\omega_n^{\frac{1}{n}}} \int |D\varphi_E| \quad (1.4)$$

(cf. [3, Theorem 4.5.9 (3.1)], [6, Example 1.2, Remark 1.16], [6, Theorem 2.14])

注意 1.5 Ω は $\mathbf{R}^n$ 内の開集合とし、 E は $\mathbf{R}^n$ 内のボレル集合とする。もし $f \in H^{1,1}(\Omega)$ ならば、 $\int_{\Omega} |Df| = \int_{\Omega} |\nabla f| dx$ を得る (cf. [6, Example 1.2])。 $\int_{\Omega} |D\varphi_E| dx$ は Ω における E のペリメターという。 $\int_{\Omega} |D\varphi_E| dx$ は、Federer [3, 4.1.7] の意味で、あるカレントの境界の質量と同等である。[14][15] において Steffen は後者の定式化を使った。もし E が C^2 級の境界 ∂E を持てば、 $\int_{\Omega} |D\varphi_E| = |\partial E \cap \Omega|$ を得る (cf. [6, Example 1.4])。

注意 1.6 この論文では測度 0 の集合は無視するから、 $A \neq \phi$ は $|A| > 0$ を意味する。

2 存在定理

補題 2.1 $n \geq 2$ とし、 H は $\mathbf{R}^n$ 内で局所的にリプシッツ連続な関数とする。もし、ある定数 $R > 0$ が存在して、任意の空でないカシオッポリ集合 $A \subset B_R^n$ に対して、不等式

$$\left| \int_A H(x) dx \right| < \int |D\varphi_A| \quad (2.1)$$

が成り立つならば、ある定数 $R_0 > R$ が存在して、任意の空でないカシオッポリ集合 $A \subset B_{R_0}^n$ に対して、(2.1) が成り立つ。

補題 2.1 の証明 背理法による。もしそのような定数 $R_0 > R$ が存在しなければ、任意の自然数 k に対して $R_k := R + \frac{1}{k}$ とおくとき、空でないカシオッポリ集合 $A_k \subset B_{R_k}^n$ が存在して、

$$\left| \int_{A_k} H(x) dx \right| \geq \int |D\varphi_{A_k}| \quad (2.2)$$

が成り立つ。一方、補題 1.3-1.4 より、正の定数 ϵ_0 と c_1 が存在して、不等式

$$\left| \int_{A_k \cap B_R^n} H(x) dx \right| \leq (1 - \epsilon_0) \int |D\varphi_{A_k \cap B_R^n}|, \quad (2.3)$$

$$|A_k|^{\frac{n-1}{n}} \leq c_1 \int |D\varphi_{A_k}| \quad (2.4)$$

が成り立つ。ここで、 $\|H\|_\infty := \|H\|_{L^\infty(B_{R_1}^n)}$ とおくと、(2.2)-(2.3) より、

$$\begin{aligned} \int |D\varphi_{A_k}| &\leq \left| \int_{A_k} H(x) dx \right| \leq \int_{A_k \cap B_{R^n}} H(x) dx + \left| \int_{A_k \setminus B_{R^n}} H(x) dx \right| \\ &\leq (1 - \epsilon_0) \int |D\varphi_{A_k \cap B_{R^n}}| + \|H\|_\infty \cdot |A_k \setminus B_{R^n}| \\ &\leq \int |D\varphi_{A_k}| - \epsilon_0 \int |D\varphi_{A_k \cap B_{R^n}}| + \|H\|_\infty \cdot |A_k \setminus B_{R^n}| \end{aligned}$$

を得る。よって、

$$\int |D\varphi_{A_k \cap B_{R^n}}| \leq \frac{1}{\epsilon_0} \|H\|_\infty |A_k \setminus B_{R^n}| \quad (2.5)$$

を得る。(2.3)-(2.5) より、

$$\begin{aligned} \left| \int_{A_k} H(x) dx \right| &\leq \left| \int_{A_k \cap B_{R^n}} H(x) dx \right| + \left| \int_{A_k \setminus B_{R^n}} H(x) dx \right| \\ &\leq (1 - \epsilon_0) \int |D\varphi_{A_k \cap B_{R^n}}| + \|H\|_\infty \cdot |A_k \setminus B_{R^n}| \\ &\leq \left(\int |D\varphi_{A_k}| - \frac{1}{c_1} |A_k|^{\frac{n-1}{n}} \right) + (1 - \epsilon_0) \int |D\varphi_{A_k \cap B_{R^n}}| + \|H\|_\infty \cdot |A_k \setminus B_{R^n}| \\ &\leq \int |D\varphi_{A_k}| - \frac{1}{c_1} |A_k|^{\frac{n-1}{n}} \frac{1}{\epsilon_0} \|H\|_\infty \cdot |A_k \setminus B_{R^n}| \\ &\leq \int |D\varphi_{A_k}| - \frac{1}{c_1} |A_k|^{\frac{n-1}{n}} \left(1 - \frac{c_1}{\epsilon_0} \|H\|_\infty \cdot |A_k|^{\frac{1}{n}} \right) \end{aligned}$$

を得る。よって、(2.2)-(2.5) より、

$$\begin{aligned} |A_k|^{\frac{n-1}{n}} &\leq c_1 \int |D\varphi_{A_k}| \leq c_1 \left| \int_{A_k} H(x) dx \right| \\ &\leq c_1 \left(\left| \int_{A_k \cap B_{R^n}} H(x) dx \right| + \left| \int_{A_k \setminus B_{R^n}} H(x) dx \right| \right) \\ &\leq c_1 \left\{ (1 - \epsilon_0) \int |D\varphi_{A_k}| + \|H\|_\infty \cdot |A_k \setminus B_{R^n}| \right\} \\ &\leq \frac{c_1}{\epsilon_0} \|H\|_\infty \cdot |A_k \setminus B_{R^n}| \longrightarrow 0 \quad (\text{as } k \rightarrow \infty) \end{aligned}$$

を得る。したがって、十分大きな k に対して不等式 $\left| \int_{A_k} H(x) dx \right| < \int |D\varphi_{A_k}|$ を得るが、これは (2.2) に矛盾する。□

注意 2.2 もちろん、補題 2.1 と同様の結果は、 B_R^n を $\mathbf{R}^n$ 内の任意の有界領域 G でリプシッツ連続な境界 ∂G をもつものに置き換えても得られる。

定理 2.3 (Dirichlet 問題) Ω は、有限個の非連結なジョルダン閉曲線から成る境界 $\partial\Omega$ をもつ $\mathbf{R}^2$ 内の有界領域とし、 Ω 内の点は $w \in (u, v)$ で表わす。 $X_0 \in H^{1,2}(\Omega; \mathbf{R}^3) \cap C^0(\bar{\Omega}; \mathbf{R}^3)$ は与えられた関数で、 $R := \|X_0\|_{L^\infty(\Omega; \mathbf{R}^3)} > 0$ とする。 H は $\mathbf{R}^3$ 内で局所的にリプシッツ連続な関数で、

$$\sup\{|H(x)|; x \in \mathbf{R}^3, |x| = R\} < 1 \quad (2.6)$$

とする。さらに、任意の空でないカシオッポリ集合 $A \subset B_R$ に対して、不等式

$$\left| \int_A 2H(x) dx \right| < \int |D\varphi_A| \quad (2.7)$$

が成り立つとする。このとき、任意の $\mu \in (0, 1)$ に対して、Dirichlet 問題

$$\Delta X = 2H(X)X_u \wedge X_v \text{ in } \Omega, \quad (2.8)$$

$$X = X_0 \text{ on } \partial\Omega \quad (2.9)$$

の解 $X \in (\{X_0\} + H_0^{1,2}(\Omega, \mathbf{R}^3)) \cap C^{2,\mu}(\Omega, \mathbf{R}^3) \cap C^0(\overline{\Omega}, \mathbf{R}^3)$ が存在する。ここで、 $\wedge$ は $\mathbf{R}^3$ 内の外積を表わす。

定理 2.3 の証明 補題 2.1 より、 $R_0 > R$ を適当にとれば、任意の空でないカシオッポリ集合 $A \subset B_{R_0}$ に対して (2.7) が成り立つ。このとき、定理 1.2 より、

$$\operatorname{div} \frac{\nabla u}{\sqrt{1 + |\nabla u|^2}} = 2H(x) \text{ in } B_{R_0} \quad (2.10)$$

の解 $u \in C^2(B_{R_0})$ が存在する。ここで、

$$Q(x) := \frac{3}{2} \frac{\nabla u}{\sqrt{1 + |\nabla u|^2}} \text{ in } B_{R_0} \quad (2.11)$$

とおくと、 $Q(x)$ は

$$\operatorname{div} Q(x) = 3H(x) \text{ in } B_{R_0} \quad (2.12)$$

をみたす。一方、(2.6) より、 $R_1 \in (R, R_0)$ が存在して、

$$\sup\{|H(x)x|; x \in \mathbf{R}^3, R \leq |x| \leq R_1\} < 1. \quad (2.13)$$

このとき、 $u \in C^2(\overline{B_{R_1}})$ であり、定数 $\alpha \in (0, 1)$ が存在して、

$$\sup\{|Q(x)|; x \in \overline{B_{R_1}}\} \leq \frac{3}{2}\alpha. \quad (2.14)$$

ここで、 $M := \{X \in \{X_0\} + H_0^{1,2}(\Omega, \mathbf{R}^3); \|X\|_{L^\infty(\Omega, \mathbf{R}^3)} \leq R_1\}$ とおき、 $X \in M$ に対して、

$$E_H(X) := \int_\Omega \left\{ \frac{1}{2} |\nabla X|^2 + \frac{2}{3} Q(X) \cdot X_u \wedge X_v \right\} dw$$

とおく。このとき M は $H^{1,2}(\Omega, \mathbf{R}^3)$ 内で弱い意味で閉じている上、(2.14) より、 $X \in M$ に対して、

$$E_H(X) \geq \frac{1-\alpha}{2} \int_\Omega |\nabla X|^2 dw$$

よって、 $E_H(X)$ は強圧的 (コアーシブ) であるから、Morrey [12, Theorem 1.8.2] より、 M の上で $H^{1,2}(\Omega, \mathbf{R}^3)$ について弱い意味で下半連続である。よって、 E_H は M 内で最小化元 $\underline{X}$ をもち、Morrey [12, Theorem 1.10.2] より、 $\underline{X} \in C^0(\overline{\Omega}; \mathbf{R}^3)$ 。ここで、 $\Omega_R := \{w \in \Omega; |\underline{X}(w)| > R\}$ とおくと、 Ω_R は Ω 内の開集合である。ここで、 $\Omega_R = \phi$ を示す。仮に、 $\Omega_R \neq \phi$ とすると、任意の $\epsilon > 0$ と、 Ω_R 内で

$\varphi \geq 0$ である任意の $\varphi \in C_0^\infty(\Omega_R)$ に対して $\underline{X} - \epsilon\varphi\underline{X} \in M$ がいえ、(2.13) より $\sup\{|H(\underline{X}(w))\underline{X}(w)|; w \in \Omega_R\} < 1$ がいえる。よって、(2.12) より、

$$\begin{aligned} 0 &\geq -\frac{d}{d\epsilon}E_H(\underline{X} - \epsilon\varphi)|_{\epsilon=0} = \int_{\Omega_R} \{\nabla\underline{X} \cdot \nabla(\underline{X}\varphi) + 2H(\underline{X})\underline{X}\varphi \cdot \underline{X}_u \wedge \underline{X}_v\} dw \\ &= \int_{\Omega_R} \{|\nabla\underline{X}|^2 + 2H(\underline{X})\underline{X} \cdot \underline{X}_u \wedge \underline{X}_v\}\varphi dw + \int_{\Omega_R} \nabla\frac{|\underline{X}|^2}{2} \cdot \nabla\varphi dw \\ &\geq \int_{\Omega_R} (1 - |H(\underline{X})\underline{X}|)|\nabla\underline{X}|^2\varphi dw + \int_{\Omega_R} \nabla\frac{|\underline{X}|^2}{2} \cdot \nabla\varphi dw \\ &\geq \int_{\Omega_R} \nabla\frac{|\underline{X}|^2}{2} \cdot \nabla\varphi dw \end{aligned}$$

を得る。したがって、弱最大値原理より、

$$R < \sup\{|\underline{X}(w)|; w \in \Omega_R\} \leq \sup\{|\underline{X}(w)|; w \in \partial\Omega_R\} = R$$

となり、不合理である。ゆえに、 $\Omega_R = \emptyset$ 、 $\|\underline{X}\|_{L^\infty(\Omega, \mathbf{R}^3)} \leq R$ であり、 $\underline{X}$ は $H^{1,2} \cap L^\infty$ の位相で M の内部にある。よって、任意の $\psi \in C_0^\infty(\Omega, \mathbf{R}^3)$ に対して、

$$0 = \frac{d}{d\epsilon}E_H(\underline{X} + \epsilon\psi)|_{\epsilon=0} = \int_{\Omega} \{\nabla\underline{X} \cdot \nabla\psi + 2H(\underline{X})\underline{X}_u \wedge \underline{X}_v \cdot \psi\} dw$$

したがって、Heinz [9] の正則性定理より、任意の $\mu \in (0, 1)$ に対して $\underline{X} \in C^{2,\mu}(\Omega, \mathbf{R}^3)$ であり、 $\underline{X}$ は (2.8) を古典的意味でみたす。□

注意 2.4 定理 2.3 で $R = 0$ の場合については、Wente [18] を見よ。その中で彼は H が定数のとき (2.8)-(2.9) について、 Ω が単連結の場合に解の一意性が成り立つことを示し、 Ω が二重連結の場合には解の一意性が成り立たない例を示した。

定理 2.5 (Plateau 問題) $\Omega := \{w = (u, v) \in \mathbf{R}^2; |w| < 1\}$ とし、 Γ は $\mathbf{R}^3$ 内のジョルダン閉曲線で、ある定数 $R > 0$ について、 $\Gamma \subset \overline{B_R}$ とする。ここで、 Γ を張る $H^{1,2}$ 曲面族 $C(\Gamma) := \{X \in H^{1,2}(\Omega; \mathbf{R}^3); X|_{\partial\Omega} \in C^0(\partial\Omega; \mathbf{R}^3)\}$ は Γ の弱単調な媒介変数表示を導入し、 $C(\Gamma) \neq \emptyset$ と仮定する。 $\partial\Omega$ 内の相異なる 3 点 P_1, P_2, P_3 と、 Γ 内の相異なる 3 点 Q_1, Q_2, Q_3 とは、向きを指定した固定点とし、 $C^*(\Gamma) := \{X \in C(\Gamma); X(P_i) = Q_i, i = 1, 2, 3\}$ とおく。 H は、 $\mathbf{R}^3$ 内で局所的にリプシッツ連続な関数で、

$$\sup\{|H(x)x|; x \in \mathbf{R}^3, |x| = R\} < 1 \quad (2.15)$$

とする。さらに、任意の空でないカシオッポリ集合 $A \subset B_R$ に対して、不等式

$$\left| \int_A 2H(x) dx \right| < \int |D\varphi_A| \quad (2.16)$$

が成り立つとする。このとき、任意の $\mu \in (0, 1)$ に対して、

$$\Delta X = 2H(X)X_u \wedge X_v \text{ in } \Omega, \quad (2.17)$$

$$|X_u|^2 - |X_v|^2 = 0 = X_u \cdot X_v \text{ in } \Omega, \quad (2.18)$$

$$X \in C^*(\Gamma) \quad (2.19)$$

をみたす解 $X \in C^{2,\mu}(\Omega, \mathbf{R}^3) \cap C^0(\overline{\Omega}, \mathbf{R}^3)$ が存在する。さらに、この X は不等式

$$\|X\|_{L^\infty(\Omega, \mathbf{R}^3)} \leq R \quad (2.20)$$

をみたす。

定理 2.5 の証明 定理 2.3 の証明で使った R_0 , u , Q , R_1 , α を使う。まず、

$$M^* := \{X \in C^*(\Gamma); \|X\|_{L^\infty(\Omega, \mathbf{R}^3)} \leq R_1\}$$

とおき、 $X \in M^*$ に対して、

$$E_H(X) := \int_{\Omega} \left\{ \frac{1}{2} |\nabla X|^2 + \frac{2}{3} Q(X) \cdot X_u \wedge X_v \right\} dw$$

とおく。このとき M^* は $H^{1,2}(\Omega, \mathbf{R}^3)$ 内で弱い意味で閉じているので ([16, Proposition I.4.5]), 定理 2.3 の証明と同様にして、 E_H が M^* の中で最小化元 $\underline{X}$ をもつことが示せる。さらに、

$$\Delta X_1 = 0 \text{ in } \Omega, \quad X_1 = \underline{X} \text{ on } \partial\Omega$$

をみたす $X_1 \in H^{1,2}(\Omega, \mathbf{R}^3) \cap C^0(\overline{\Omega}, \mathbf{R}^3)$ が存在するので、

$$E_H(\underline{X}) = \inf\{E_H(X); X \in \{X_1\} + H_0^{1,2}(\Omega, \mathbf{R}^3), \|X\|_{L^\infty(\Omega, \mathbf{R}^3)} \leq R_1\}$$

がいえる。よって、Morrey [12, Theorem 1.10.2] より、 $\underline{X} \in C^0(\overline{\Omega}, \mathbf{R}^3)$ を得る。したがって、定理 2.3 の証明と同様にして、 $\|\underline{X}\|_{L^\infty(\Omega, \mathbf{R}^3)} \leq R$ がいえ、任意の $\mu \in (0, 1)$ に対して $\underline{X} \in C^{2,\mu}(\Omega, \mathbf{R}^3)$ がいえるので、 $\underline{X}$ は古典的意味で (2.17) をみたす。最後に、 $\underline{X}$ が (2.18) をみたすことを示す ([16, Remark III.2.4.ii])。 $\mathbf{R}^2$ 内の任意の集合 G と $X \in H^{1,2}(G; \overline{B_{R_1}})$ に対して、

$$\begin{aligned} D(X; G) &:= \frac{1}{2} \int_G |\nabla X|^2 dw, \quad V(X; G) := \frac{2}{3} \int_G Q(X) \cdot X_u \wedge X_v dw, \\ E_H(X; G) &:= D(X; G) + V(X; G) \end{aligned}$$

とおく。このとき、もし $\tau \in C^1(\overline{\Omega}, \mathbf{R}^2)$ が存在して、 $\Omega_\epsilon := (id + \epsilon\tau)(\Omega)$ とおくとき

$$\frac{d}{d\epsilon} E_H(\underline{X} \circ (id + \epsilon\tau)^{-1}; \Omega_\epsilon)|_{\epsilon=0} \neq 0 \quad (2.21)$$

が成り立つならば、絶対値の十分小さい $\epsilon \neq 0$ が存在して、

$$E_H(\underline{X} \circ (id + \epsilon\tau)^{-1}; \Omega_\epsilon) < E_H(\underline{X}) \quad (2.22)$$

をみたす。リーマンの写像定理より、共形写像 $g = (g^1, g^2) : \overline{\Omega} \rightarrow \overline{\Omega}_\epsilon$ が存在して、

$$\underline{X} \circ (id + \epsilon\tau)^{-1} \circ g \in M^* \quad (2.23)$$

をみたす。このとき、 $D(X; \Omega)$ の共形不変性より、

$$D(\underline{X} \circ (id + \epsilon\tau)^{-1} \circ g; \Omega) = D(\underline{X} \circ (id + \epsilon\tau)^{-1}; \Omega_\epsilon) \quad (2.24)$$

がいえる。ところで、コーシー・リーマンの関係式 ($g^1_u = g^2_v$, $g^1_v = -g^2_u$) より

$$\det(\nabla g \circ g^{-1}) = g^1_u g^2_v - g^1_v g^2_u = (g^1_u)^2 + (g^1_v)^2 > 0$$

であり、 $V(X; \Omega)$ は X の向きを保つ媒介変数の取り替えに関して不変であるから、

$$V(\underline{X} \circ (id + \epsilon\tau)^{-1} \circ g; \Omega) = V(\underline{X} \circ (id + \epsilon\tau)^{-1}; \Omega_\epsilon) \quad (2.25)$$

が成り立つ。(2.22)、(2.24)-(2.25) より、

$$E_H(\underline{X} \circ (id + \epsilon\tau)^{-1} \circ g) < E_H(\underline{X}) \quad (2.26)$$

を得る。しかし、(2.23) と (2.26) は $\underline{X}$ が M^* における E_H の最小化元であることに矛盾する。したがって、任意の $\tau \in C^1(\bar{\Omega}, \mathbf{R}^2)$ に対して、

$$\frac{d}{d\epsilon} E_H(\underline{X} \circ (id + \epsilon\tau)^{-1}; \Omega_\epsilon)|_{\epsilon=0} = 0$$

でなければならない。ところで、任意の $\tau \in C^1(\bar{\Omega}, \mathbf{R}^2)$ に対して、

$$\frac{d}{d\epsilon} V(\underline{X} \circ (id + \epsilon\tau)^{-1}; \Omega_\epsilon)|_{\epsilon=0} = 0$$

であるから、任意の $\tau = (\tau^1, \tau^2) \in C^1(\bar{\Omega}, \mathbf{R}^2)$ に対して

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{d}{d\epsilon} D(\underline{X} \circ (id + \epsilon\tau)^{-1}; \Omega_\epsilon)|_{\epsilon=0} \\ &= -\frac{1}{2} \int_{\Omega} \operatorname{Re} \left\{ (|\underline{X}_u|^2 - |\underline{X}_v|^2 - 2i\underline{X}_u \cdot \underline{X}_v) \cdot \left(\frac{\partial}{\partial u} + i \frac{\partial}{\partial v} \right) (\tau^1 + i\tau^2) \right\} dx \\ &= -\frac{1}{2} \int_{\Omega} \{ (|\underline{X}_u|^2 - |\underline{X}_v|^2)(\tau^1_u - \tau^2_v) + 2\underline{X}_u \cdot \underline{X}_v(\tau^1_v + \tau^2_u) \} dx \end{aligned}$$

がいえる。ゆえに $\underline{X}$ は (2.18) をみたす (cf. [2, Theorem I.4.5.1])。□

注意 2.6 (2.17)-(2.19) の解 X は、分岐点以外では平均曲率 H の曲面を表わすので、 H -surface と呼ばれる。そこで、(2.17) を H -surface の方程式と呼んだ。 H -surface は無条件には存在しない (cf. Heinz [8])。逆に、2つ以上存在する場合もある (cf. [16, IV.4])。定理 2.5 で、もし Γ が求長可能ならば $C(\Gamma) \neq \phi$ である ([2, I.4.2], [16, Lemma I.4.8])。Steffen [14], [15] においては、 Γ の求長可能性が必要である ([14, Remark 6.3], [15, Remark 4] in p.142)。定理 2.3 または定理 2.5 を拡張したければ、領域 B_R を $\mathbf{R}^3$ 内のもっと一般の領域 G に置き換え ([7, Theorem 3.1], [15, Proposition 5.4])、(2.6) または (2.15) を $\sup\{|H(x)x|; x \in \mathbf{R}^3, x \in \partial G\} \leq 1$ に置き換え、(2.7) または (2.16) を $\left| \int_A 2H(x) dx \right| \leq \int |D\varphi_A|$ に置き換え、 H を $H_m := \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{-1} H$ で近似すればよい ([11, pp.108-111], [14, Remark 6.2])。

参考文献

- [1] T. Aubin, Nonlinear analysis on manifolds. Monge-Ampère equations, Springer, New York-Heidelberg-Berlin (1982).
- [2] U.Dierkes, S.Hildebrandt, A.Küster and O.Wohlrab, Minimal Surfaces I, II, Springer, Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo-Hong Kong-Barcelona-Budapest, 1992.
- [3] H. Federer, Geometric measure theory, Springer, Berlin-Heidelberg-New York (1969).
- [4] M. Giaquinta, On the Dirichlet problem for surfaces of prescribed mean curvature, Manusc. Math. **12** (1974), 73-86.

- [5] E. Giusti, On the equation of surfaces of prescribed mean curvature, *Invent. Math.* **46** (1978), 111-137.
- [6] E. Giusti, *Minimal surfaces and functions of bounded variation*, Birkhäuser, Boston-Basel-Stuttgart (1984).
- [7] R. Gulliver, J. Spruck, Existence theorems for parametric surfaces of prescribed mean curvature, *Indiana Univ. Math. J.* **22** (1972), 445-472.
- [8] E. Heinz, On the nonexistence of a surface of constant mean curvature with finite area and prescribed rectifiable boundary, *Arch. Rat. Mech. Anal.* **35** (1969), 249-252.
- [9] E. Heinz, Über die Regularität schwacher Lösungen nicht linearer elliptischer Systeme, *Nachr. Akad. Wiss. Göttingen*, **II.1** (1986), 1-15.
- [10] S. Hildebrandt, Randwertprobleme für Flächen mit vorgeschriebener mittlerer Krümmung und Anwendungen auf die Kapillaritätstheorie. Teil I. Fest vorgegebener Rand, *Math. Z.* **112** (1969), 205-213.
- [11] S. Hildebrandt, On the Plateau problem for surfaces of constant mean curvature, *Comm. Pure Appl. Math.* **23** (1970), 97-114.
- [12] C.B.Morrey, Jr., *Multiple integrals in the calculus of variations*, Springer, Berlin-Heidelberg-New York (1966).
- [13] J. Serrin, The problem of Dirichlet for quasilinear elliptic differential equations in many independent variables, *Phil. Trans. Royal Society of London*, **264** (1969), 413-496.
- [14] K. Steffen, On the existence of surfaces with prescribed mean curvature and boundary, *Math. Z.* **146** (1976), 113-135.
- [15] K. Steffen, Isoperimetric inequalities and the problem of Plateau, *Math. Ann.* **222** (1976), 97-144.
- [16] M. Struwe, *Plateau's problem and the calculus of variations*, Math Notes **35**, Princeton University Press, Princeton (1989).
- [17] H. C. Wente, An existence theorem for surfaces of constant mean curvature, *J. Math. Anal. Appl.* **26** (1969), 318-344.
- [18] H. C. Wente, The differential equation $\Delta x = 2Hx_u \wedge x_v$ with vanishing boundary values, *Proc. AMS*, **50** (1975), 59-77.

(平成 1 4 年 9 月 2 5 日 受理)

活性炭吸着及び活性汚泥処理による環境汚染物質の有害性削減評価

庄司 良*, 西村健志*, 平田房雄*
イエシカ ベプサライネン**, カロリーナ リュングベルグ**

Toxicity Reduction Evaluation (TRE) of Environmental Pollutants by Activated Carbon Adsorption and Activated Sludge Treatments

Ryo SHOJI, Takeshi NISHIMURA, Fusao HIRATA,
Jesica VEPSALAINEN, Karoliina LJUNGBERG

In order to evaluate the toxicity reduced by water treatment, conventional water quality indices, such as individual chemical concentrations, biological oxygen demand (BOD), total organic carbon concentration (TOC), have often been used. However, toxicities of environmental pollutants to human beings or ecosystem cannot be indicated only by such conventional water quality indices, because of chemical interaction, unknown chemicals produced in treatment processes and so on. Therefore, toxicity reduction evaluation (TRE), that have been proposed by U. S. EPA (United States Environmental Protection Agency) as a method of environmental management, should be focused for reliable evaluation of treatment efficiency. In this study, we examined toxicity reduction evaluation by using bioassay based on cell survival test before and after treatments of toxic water sample. As typical water treatments, we examined activated carbon adsorption and activated sludge treatments using various environmental pollutants, such as 2, 4-Dichlorophenoxy acetic acid (2, 4-D) and 2, 4-Dichlorophenol (2, 4-DCP). By activated sludge treatment, concentration of 2, 4-D was effectively reduced, though toxicity of treated water still kept strong. This is because 2, 4-D was changed to 2, 4-DCP, that is also toxic, by metabolism of activated sludge. In this case, toxicity reduction cannot be evaluated by indices based on concentration of the chemical. From the result of this study, it is concluded that toxicity reduction evaluation performed by bioassay should be employed for daily water quality management.

(key words : activated carbon adsorption, activated sludge, bioassay, cytotoxicity)

1. はじめに

近年、人間活動の活発化によって、多種多様な環境汚染物質が環境中に放出されている。特に我が国においては主たる水道原水として河川水を使用しているが、河川水も例外ではなく、様々な人間活動によって排出された工業排水、農業排水、家庭雑排水などによって汚染が深刻化している¹⁾。原則として河川に流入する各排水は放流前に様々な水処理プロセスによって処理されており、それらの処理効果の評価に際しては、個別化学物質の濃度を基準とし、化学物質の濃度を水質基準以下に低減させてから放流されている。ところが、種々の処理の結果、有害性が無視できない非意図的副生成物が生成したり、あるいは低濃度であっても化学物質の相互作用によって複合毒性を発現し、

相乗的な毒性が放流水中に確認されることもあり²⁾、従来の個別化学物質の濃度を基準とする水質管理では、ヒトまたは生態系に対する影響を十分に評価できないことも考えられる³⁾。

アメリカ環境保護庁(U. S. EPA)では、新しい環境管理手法として、TRE (Toxicity Reduction Evaluation)を提示しており³⁾、既にアメリカ国内を中心にこの環境管理手法が適用されつつある⁴⁾。この方法論は必ずしも個別化学物質の濃度を測定する必要は無く、バイオアッセイなどの直接的な有害性評価法による各種処理の特性から、有害性の原因となっている化学物質の種類を明らかにし、同定された化学物質に最適な処理を施すことで、効果的な全体の毒性削減を期待するものである。

本研究では、わが国における新しい水環境管理

手法の一つとして TRE の導入を検討する基礎的知見の収集のため、代表的な水処理プロセスである活性汚泥および活性炭吸着処理において農薬などの環境汚染物質を用いて被検物質の濃度変化と毒性の削減を評価し、バイオアッセイによる処理の特性評価の適用可能性を検証することを目的とする。

2. 実験方法

2-1. 処理実験

・ 被検物質

処理の対象としたモデル化学物質を Table 1 に示す。

Table 1 本研究で検討した被検物質

物質名	CAS No.	MW(g)	吸収波長(nm)
ジクロロフェニ酢酸(2,4-D)	94-75-7	221.04	230
ジクロロフェノール(2,4-DCP)	583-78-8	163.00	285
フェノール	108-95-2	94.11	285
安息香酸ナトリウム(BA)	65-85-0	122.12	224.5
4-ヒドロキシ安息香酸(4-OHBA)	99-96-7	138.12	235

これらの物質は農薬、溶剤等として広く一般的に用いられており、環境中に高濃度で検出されることもあるため適切な処理、管理が求められている。

・ 活性汚泥処理

2.5L の曝気槽を有する標準活性汚泥処理装置を使用した。投入基質としてグルコースとペプトンを主成分とする人工下水を水道水で希釈したものをを使用した。容器内の濃度が 50ppm となるように試料を添加し、攪拌の開始から経過時間ごとに試料水 4ml を採取し、グラスフィルターGS-25を用い、吸引濾過した。本研究では特異的な化学物質についてのみ処理するプロセスではなく、一般的な水処理施設に高濃度の化学物質が流入した水質事故的なケースを想定したので、使用した活性汚泥は曝露する化学物質による馴養は行わなかった。

・ 活性炭吸着処理

回分式の容量 1L の攪拌槽を使用し、活性炭は東洋カルゴン社の CAL を 1168 μm から 840 μm の間で篩い分けしたものを使用した。試料水及び秤量した活性炭を恒温水槽内の装置にセットし、攪拌回転数 450rpm 以上で実験を開始し、吸着平衡になるまで行った。攪拌の開始から経過時間ごとに試料水 4mL を採取した。

・ 濃度の測定

試料水 2ml を用いて、島津分光光度計 UV-1200 により、紫外吸光度法で濃度を測定した。分析波長はあらかじめ測定したそれぞれ被検物質の最大吸収波長とした。

2-2. 細胞培養及び細胞毒性評価

・ 細胞培養及び細胞毒性評価

ヒト肝臓ガン由来 Hep G2 細胞を用い、DME (Dulbecco's Modified Eagles Medium)+5%FBS(Fetal Bovine Serum)培地に 5%CO₂ 存在下 37℃で培養した。

処理試料水または化学物質単体の溶液を無菌濾過し、10 倍濃縮の DME 培地と 1 : 9 の割合で混合し、96 穴プレートに播種した細胞に曝露した。48 時間培養後の細胞生存率を AP(Acid Phosphatase)法により測定した。データは 8 ウェルの平均値とした。

2-3. 解析

細胞を用いる毒性評価は煩雑且つ特殊な装置や操作が必要となるため、本研究では各水処理プロセスの結果低減される化学物質の濃度や毒性を予測する手法の開発を試みた。実験から得られた用量作用関係（濃度の対数に対する細胞生存率の関係）を(1)式に示すロジスティック式により定式化した。この定式化には非線形最小二乗法による回帰計算を行い、相関係数を同時に算出した。

$$y = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{x - m}{s}\right)} \quad (1)$$

y; 細胞生存率、x; logC、C; 化学物質の濃度(mM)、m; logED₅₀(y=0.5 になる logC)、s; 曲線の傾きを示すパラメータ

すでに我々は(1)式で化学物質の用量作用曲線を高い相関性で回帰できることを確かめている²⁾。

加えて、2種類以上の化学物質が同時に細胞に曝露された場合の複合毒性は以下の(2)式で与えられるとした。

$$Y = \prod_i y_i \quad (2)$$

Y; 複合曝露系の細胞生存率、 y_i ; 構成成分単独曝露における細胞生存率

(2)式の有効性については、各種化学物質の2成分系で検討を加え、概ね良好に複合毒性を記述可能($R^2 > 0.7$)であることを確かめている²⁾。

処理対象の反応物とその副生成物の濃度変化を反応工学的解析によって実測値から予測し、その予測濃度を用量作用曲線の(1)式に代入して個別化学物質曝露時の細胞生存率を算出し、(2)式によって反応物と生成物が同時に曝露された場合の複合毒性を計算した。

3. 結果

3-1. 2,4-ジクロロフェノキシ酢酸の処理特性

2,4-D、2,4-DCP等質量混合溶液による活性汚泥および活性炭吸着処理実験結果をFig. 1及びFig. 2にそれぞれまとめた。Fig. 1より、2,4-Dの濃度は低下したものの2,4-DCPの濃度は逆に上昇した。これは活性汚泥によって2,4-Dが加水分解され2,4-DCPに変化したものと考えられる。2,4-Dの濃度低下に対し細胞生存率の著しい上昇が見られないのは、生成物である2,4-DCPにも依然として強い毒性が存在するためと考えられる⁵⁾。また、2,4-D濃度の減少分に応じて2,4-DCP濃度が上昇しない一因として、活性汚泥自体への2,4-DCPの吸着が挙げられる。一方、Fig. 2に示した活性炭吸着において両化学物質濃度は共に低下し、特に2,4-DCPにおいて高い吸着性が確認された。それに伴い細胞生存率は著しく上昇した。また測定濃度に相当する細胞毒性を各物質の用量作用曲線から導出した値からも、活性炭吸着処理の毒性低減効果は大きいと考えられる。以上から、2,4-Dの濃度変化のみでは毒性の指標として不十分であり、処理の結果生成する副生成物の有害性を見落としてしまう可能性もあるため⁶⁾、バイオ

アッセイを用いた毒性削減評価による水処理プロセス評価の必要性が確認された。

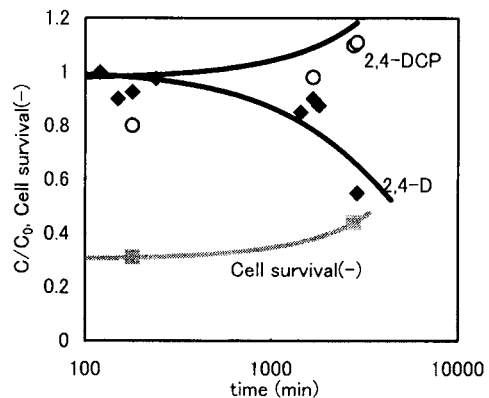


Fig. 1 Time-course changes in concentration and cell survival by activated sludge treatment (2,4-D and 2,4-DCP)

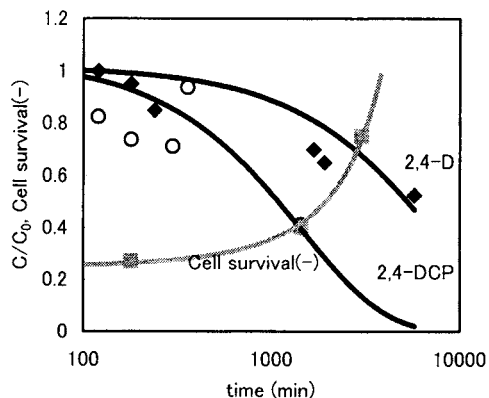


Fig. 2 Time-course changes in concentration and cell survival by activated carbon adsorption treatment (2,4-D and 2,4-DCP)

3-2. フェノールの処理特性

フェノールにおける活性汚泥及び活性炭吸着処理実験結果をそれぞれFig. 3及びFig. 4に示した。活性汚泥処理の結果、Fig. 3よりフェノール濃度は時間経過にともない低下した。特に経過時間100分以降で著しく濃度が低下した。一方、細胞生存率は実験初期から高い値を示した。これはフェノールの毒性が元々低かったためと考えられる。そのため、濃度の低下に伴う著しい細胞生存率の上昇は見られず、細胞生存率は緩やかに上昇し、実験終期に1に近づく結果となった。活性炭吸着処理については、Fig. 4に見られる様にFig. 3と同様に実験初期から細胞生存率は高い値を示し、フェノールが毒性の低い物質であることが裏付け

られた。フェノール単体の用量作用曲線(Fig. 9)から見てもこのことは明らかである。濃度は実験開始直後から著しく低下し、500 分ではほぼ吸着平衡に達している。活性炭処理と活性炭吸着処理とを比較すると、両者ともに処理能力はあるものの、活性炭吸着処理の方が処理時間は短時間で済むことが明らかとなった。

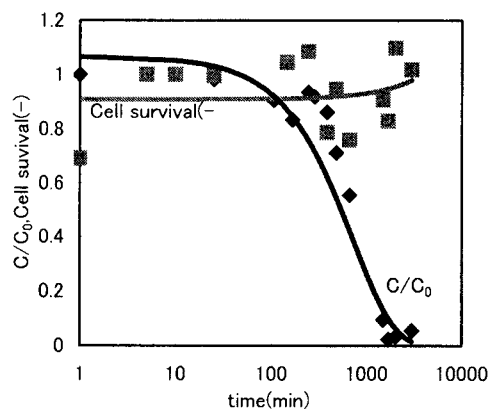


Fig. 3 Time-course changes in concentration and cell survival by activated sludge treatment (Phenol)

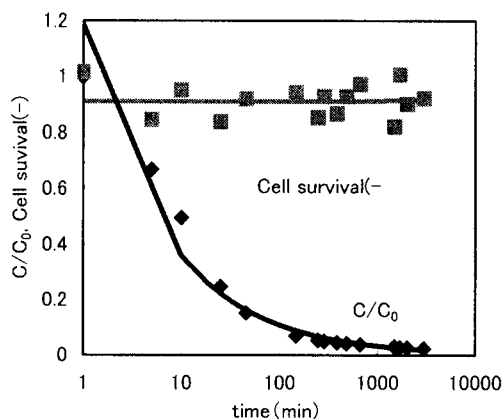


Fig. 4 Time-course changes in concentration and cell survival by activated carbon treatment (Phenol)

3-3. 安息香酸ナトリウム(BA)の処理特性

安息香酸ナトリウムの活性汚泥及び活性炭吸着処理結果をそれぞれ Fig. 5 及び Fig. 6 に示した。Fig. 5 より、活性汚泥処理では安息香酸ナトリウムの濃度はほとんど低下しなかった。これは活性汚泥には安息香酸ナトリウムの分解能がほとんどないことを示している。そのため、細胞生存率で

はわずかに毒性を示し、ほとんど変化がなかった。一方、Fig. 6 の活性炭吸着処理では実験開始直後から濃度が低下し、実験終了時には全体の 80% を吸着処理した。細胞生存率は実験初期から高い値を示したため、変化は見られなかった。両処理の細胞生存率初期値から見て、安息香酸ナトリウムもフェノール同様毒性の低い物質であるためと考えられる。両処理の結果を比較すると、安息香酸ナトリウムは活性汚泥処理ではほとんど濃度削減の効果を得られないが、活性炭吸着処理ならば高い処理効果が得られた。

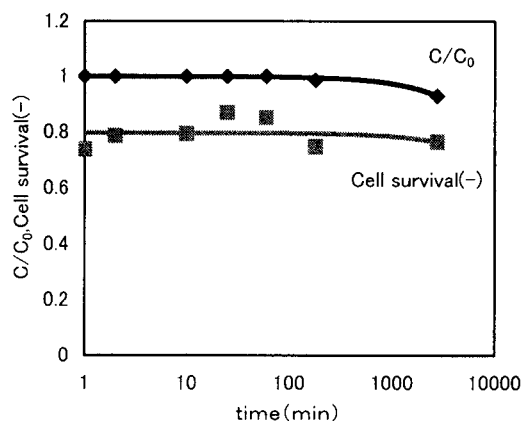


Fig. 5 Time-course changes in concentration and cell survival by activated sludge treatment (Sodium benzoic acid; BA)

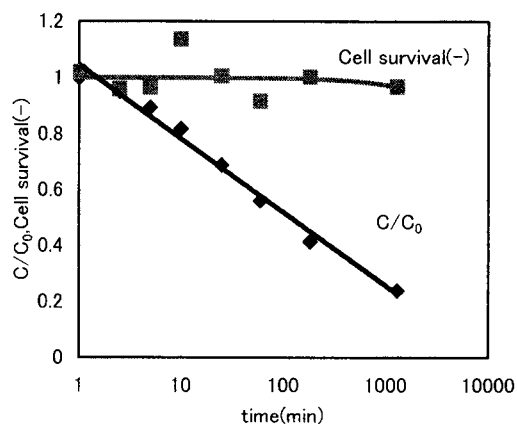


Fig. 6 Time-course changes in concentration and cell survival by activated carbon treatment (Sodium benzoic acid; BA)

3-4. 4-水酸化安息香酸(4-OHBA)の処理特性

Fig. 7、Fig. 8 に 4-水酸化安息香酸の活性汚泥及び活性炭吸着処理実験の結果をそれぞれ示した。

Fig. 7 より、活性汚泥処理によって 4-水酸化安息香酸濃度は経過時間 100 分以降から著しく低下した。それに伴い、細胞生存率は 1 付近まで上昇が見られた。フェノール、安息香酸ナトリウム同様、実験初期から比較的高い細胞生存率を示した。濃度の低下と細胞生存率の上昇から見て、活性汚泥の 4-水酸化安息香酸の分解により、毒性の軽減が現れた処理結果となった。活性炭吸着処理の Fig. 8 についても同様に、実験開始直後からの著しい濃度低下に対し、それに相当する細胞生存率の上昇が確認できた。両処理結果から見て、この水溶液中での毒性物質は 4-ヒドロキシ安息香酸のみで、加水分解等の代謝による毒性を有する副生成物の生成は確認出来なかった。そのため、細胞生存率が 1 相当まで上昇する処理結果となった。

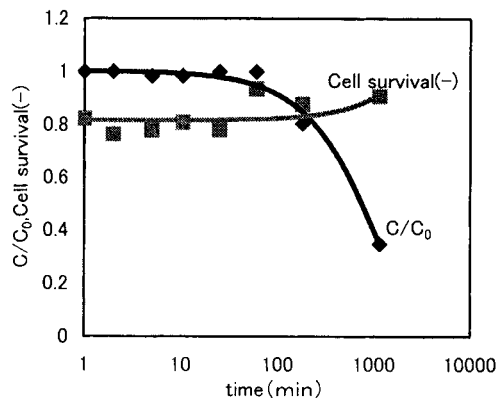


Fig. 7 Time-course changes in concentration and cell survival by activated sludge treatment(4-hydroxybenzoic acid)

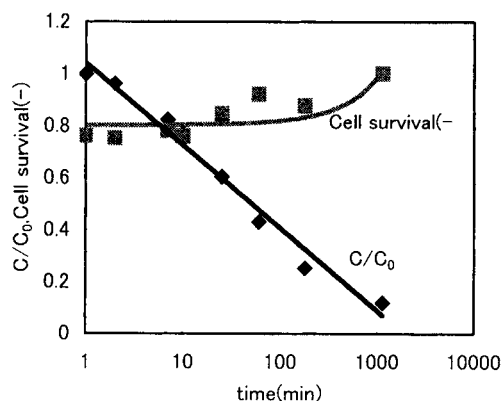


Fig. 8 Time-course changes in concentration and cell survival by activated carbon treatment(4-hydroxybenzoic acid)

3-5. 用量作用曲線

本研究で使用した被検物質の用量作用曲線を Fig. 9 に示す。検討した 5 種類の中では 2,4-D、2,4-DCP 及びその混合物が強い毒性を有し、次に安息香酸ナトリウムが強い毒性を示した。一方、フェノールと 4-水酸化安息香酸には検討した濃度範囲では有意な毒性を示さなかった。このことは処理開始直後化学物質原体の濃度が高いにもかかわらず高い細胞生存率を示したフェノールや 4-水酸化安息香酸の結果と良く一致した。一方、2, 4-D の活性汚泥処理において生成する 2, 4-DCP の強い毒性により処理後も依然として強い細胞毒性を示したことも Fig. 9 の結果と良く一致した。

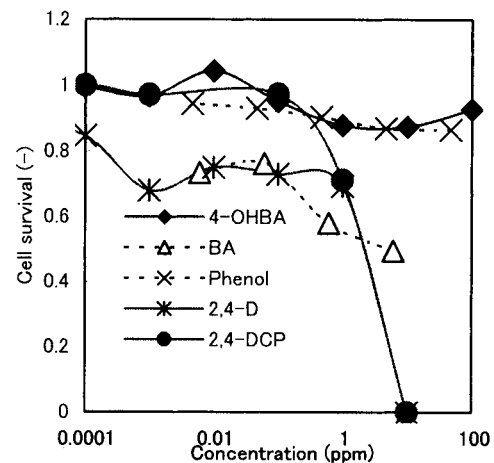


Fig. 9 Dose response curves of various environmental pollutants tested in this work

3-6. 活性汚泥への吸着性の検討

以上までの検討において、活性汚泥処理に伴う副生成物の生成による細胞毒性が確認できなかった化学物質について、その処理特性を解明するため、得られた処理結果より経過時間 1000 分に対応する C/C_0 の値を読みとり、縦軸に活性炭吸着処理での値を横軸に活性汚泥処理の値をプロットし Fig. 10 に示した。Fig. 10 より、被検物質の活性汚泥における処理特性としてはビスフェノール A が最も処理しやすく、ついでフェノール、4-水酸化安息香酸となり、分解による濃度の低下が確認できなかった安息香酸ナトリウムとなった。活性汚泥処理の処理特性についても活性炭吸着処理と同じ順となった。被検物質全体のプロットが横軸に近いところにあることから、経過時間 1000 分において

活性汚泥処理より活性炭吸着処理の方が濃度の低減に優れた処理であることが確認できた。得られた近似直線の傾きから活性汚泥と活性炭の処理能の比を求めた結果、本研究での活性汚泥の処理能は活性炭吸着の処理能の 25% 程度であった。これは今回使用した活性汚泥では被検物質を用いた馴養をしていないためであると考えられる。Fig. 11 は縦軸を除去率 X とし、それぞれの物質のオクタノール-水分配係数 (P_{ow}) を横軸としプロットしたものである。色抜きが活性汚泥プロットで塗りつぶしが活性炭のプロットである。一般に P_{ow} の高い物質は吸着されやすい⁸⁾。Fig. 11 においても活性炭だけでなく活性汚泥についても化学物質の P_{ow} への依存性が確認された。このことから、本実験における活性汚泥処理は代謝による生分解よりも生物フロッグへの吸着の寄与の大きい処理であったと判断され、難分解性化学物質の活性汚泥処理に関する既往の研究の結果と一致した¹¹⁾。これは未馴養の活性汚泥を用いたためと考えられるが、このような処理形態においては生分解による副生成物の生成はわずかであり、毒性への影響もないと言え、本研究におけるバイオアッセイによる毒性削減評価の有用性はほとんど無い。副生成物の生成が無視できない処理プロセスであり、例えば Fig. 1 に示した 2,4-D の処理特性の解明に際しては、本研究で示した毒性削減評価が有効となる。

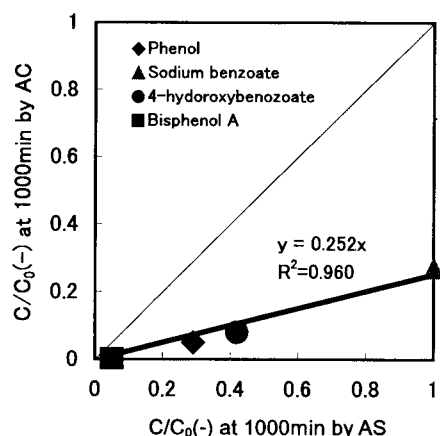


Fig. 10 Comparison between C/C_0 at 1000min by activated carbon adsorption (AC) and activated sludge (AS) treatments

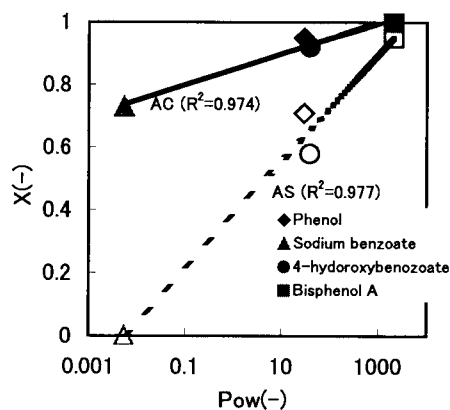


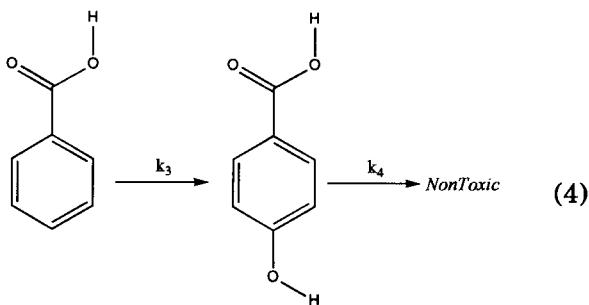
Fig. 11 Relationship between P_{ow} and X at 1000min ($X = 1 - C/C_0$)

4. 考察

本研究では代表的な水処理プロセスである活性汚泥処理と活性炭吸着処理で、農薬等の環境汚染物質を処理し、濃度の低下を評価すると共に細胞毒性という新しい水質指標を評価して、ヒトに対するリスク評価という評価軸を導入して両処理の効率を評価した。一般に活性汚泥処理では、単純に化学物質の濃度を低減する活性炭吸着処理と異なり、汚泥中に存在する微生物の代謝分解によって処理するため、毒性を有する副生成物が生成することもある。今回検討した化学物質では 2,4-D の代謝物である 2,4-DCP の生成やフェノール及び安息香酸ナトリウムの微生物分解の代謝物である 4-水酸化安息香酸の生成が考えられた。後者の場合、活性汚泥による分解はあまり考えられず、むしろ濃度の低下は汚泥フロッグへの吸着による¹¹⁾ものと考えられることと、副生成物である 4-水酸化安息香酸に有意な毒性がないことが Fig. 9 から分かるため、フェノールや安息香酸ナトリウムの活性汚泥処理による濃度の低減に伴い、細胞毒性も低下した。一方、前者の場合 2,4-D の濃度低下に伴い副生成物である 2,4-DCP の濃度が上昇し、結果として細胞毒性の低下は見られなかった。このことは水処理前後の毒性の変化を処理の効率評価の指標として行う必要性を示しているが、毒性試験は一般に特殊な装置や手法が必要なため、水処理の現場でこれを行うことは困難である。それ故、単純化した毒性予測モデルの開発が

求められる。

活性汚泥による化学物質の分解反応は複雑な機構であるが、今回検討した 2,4-D と安息香酸ナトリウムに関してはそれぞれ 2,4-DCP と 4-水酸化安息香酸を経由して分解・無毒化されていくことが知られており、これらの反応を不可逆な一次反応で量論的に進行するものとして単純化した場合、それぞれ以下の(3),(4)式で示される反応式で与えられる。



Benzoic acid (BA) 4-hydroxybenzoic acid (4-OH BA)

この場合の反応速度はそれぞれ以下の(5),(6),(7),(8)式で与えられる。

$$\frac{d[2,4-D]}{dt} = -k_1[2,4-D] \quad (5)$$

$$\frac{d[2,4-DCP]}{dt} = k_1[2,4-D] - k_2[2,4-DCP] \quad (6)$$

$$\frac{d[BA]}{dt} = -k_3[BA] \quad (7)$$

$$\frac{d[4-OHBA]}{dt} = k_3[BA] - k_4[4-OHBA] \quad (8)$$

初期条件

$$\begin{aligned} t = 0(\text{sec}), [2,4-D]_0 &= 100(\text{ppm}) \\ [2,4-DCP]_0 &= 0(\text{ppm}), [BA] = 100(\text{ppm}) \\ [4OHBA]_0 &= 0(\text{ppm}) \end{aligned}$$

Fig. 1 及び Fig. 5、Fig. 7 で示される分解反応の結果から得られる速度定数および検討した初濃度をこれらの式に代入して副生成物である 2,4-DCP と 4-水酸化安息香酸の速度論的解析を微分方程式解析ソフト STELLA で行った結果、もともと有意な毒性が無い 4-水酸化安息香酸に関しては、反応式(4)の一段階目と二段階目の反応速度定数が $k_3 \ll k_4$ であるためほとんど濃度の上昇も得られず副生成物の毒性は無視できる結果となったが、2,4-DCP の濃度は時間の経過と共に有意に上昇した。

この反応速度論的な解析では量論的に進行する一次反応と大胆に単純化したが、反応物と生成物の当量濃度およびそれぞれ単独での濃度変化を示した Fig. 1 および Fig. 5、Fig. 7 の挙動と一致した($R^2 > 0.7$)ため、Fig. 9 で示した用量作用曲線を(1)式に回帰計算して得られた数式に代入し、(2)式で示される複合毒性記述法¹⁰⁾によって反応物と生成物の 2 成分系を仮定した複合毒性を予測し、細胞生存率の時間変化を予測した。その結果、2,4-D の分解については毒性の低減がほとんど見られないという予測結果となり、これは Fig. 1 で示した実験結果とも一致した($R^2 > 0.6$)。このことにより、処理水を継続的に細胞毒性評価しなくても、初歩的な反応工学的な解析と単純化したモデルで細胞毒性の変化を記述できる見込みが得られた。

以上の結果は、処理の効率を単純に処理物質の濃度だけで判断することの危険性を示しており、同様に処理による副生成物の生成が考えられる塩素処理やオゾン処理にも同じことが言える。農薬 DDVP や埋立地処分場浸出水のオゾン処理による細胞毒性の消長を検討した研究^{12), 13)}でも、濃度に応じて単純に細胞毒性が変化する訳では無いことが示されている。加えて、塩素消毒副生成物のように化学物質原体には毒性がないものでも、処理の結果生成する副生成物に強い毒性があるも

のもある¹⁴⁾。以上の結果より、各処理により生成する副生成物が予測の範囲であり、かつ処理の対象物質と副生成物の毒性が既知であれば、濃度の測定だけでも今回検討した単純化した毒性変化の速度論的モデルでも処理過程での毒性予測が可能であるものの、各種水処理の効率評価の一指標として予測又は実測の毒性評価を加えることは必要不可欠であると結論された。

謝辞

本研究の一部は平成 14 年度東京工業高等専門学校重点配分経費研究助成金によって行われた。

活性炭吸着実験及び活性汚泥実験に際し、それぞれ物質工学科須藤義孝名誉教授及び三谷知世教授に多大なる助言と実験機器の提供を頂いた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) R. Shoji et al.: Rapid bioassay of toxicity in environmental water by LDL-uptaking activity of human cell, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 38, pp. 271-278 (1998)
- 2) R. Shoji et al.: Formulating bioassay data of chemicals and environmental water, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 42, pp. 115-124 (2000)
- 3) H. C. Sarakinos et al.: *Environ. Toxicol. Chem.*, Vol. 19, pp. 63-71 (2000)
- 4) 楠井 隆史: 水環境学会誌, Vol. 23, pp. 395-399 (2000)
- 5) W. H. Glaze et al.: Ozonation Byproducts. 2. Improvement of an aqueous-phase derivatization method for the detection of formaldehyde and other carbonyl compounds formed by the ozonation of drinking water, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 23, pp. 838-847 (1989)
- 6) M. C. Lu et al.: Microtox bioassay of photodegradation products from photocatalytic oxidation of pesticides, *Chemosphere*, Vol. 27, pp. 1636-1647 (1993)
- 7) <http://esc.syrres.com/interkow/webprop.exe>

8) Hu et al.: *Wat. Sci. Tec.*, Vol. 35, pp. 219-226 (1997)

9) R. Shoji et al.: Preservation of human cell bioassay device for the on-site evaluation of environmental waters, *Wat. Sci. Tech.*, in press.

10) 庄司 良ら: バイオアッセイで評価した化学物質および環境水の複合的な毒性の定量的記述, Vol. 23, pp. 487-494 (2000)

11) 斎藤 剛ら: 化学物質の下水処理工程における除去効果の改善, Vol. 25, pp. 97-103 (2002)

12) 鈴木 基之ら: DDVP のオゾン処理における細胞毒性変化の解析と予測, 水環境学会誌, Vol. 24, pp. 225-232 (2001)

13) 金 範洙ら: 埋立地浸出水のオゾン処理における細胞毒性変化の解析と予測, 水環境学会誌, Vol. 24, pp. 293-299 (2001)

14) 庄司 良: ヒト細胞を用いるバイオアッセイの水質管理への応用, 安全工学, Vol. 40, pp. 230-235 (2001)

(平成 14 年 9 月 3 日受理)

Ionization Absolute Humidity Sensor

Shigeaki MATSUMOTO* and Akira KIKUCHI**

Abstract

A simple ionization absolute humidity sensor was developed in the present study. It consisted of a small-sized parallel plate ionization chamber with a radioactive alpha-ray source for supplying ion pairs to measure absolute humidity in air and an operational amplifier circuit for measuring the ionization current of the order of 10^{-12} A produced by alpha-rays. A sealed alpha-ray source, ^{241}Am , was used. The size of the sensor was 50 mm in diameter and 130 mm in length. The distance between the two electrodes in the chamber was set at 15 mm which was enough longer distance than the maximum range of attenuated alpha-rays from the source and the wall effect on the ionization current was removed. The ionization current of the sensor was measured at various humidities in a range from 0 g/m³ to 25 g/m³ and temperatures in the range from 20°C to 40°C under the atmospheric pressure. It was shown that the ionization current is inversely proportional to the absolute humidity because a decrease in the ionization current is caused by the absolute amount of water vapor contained in the air. From the relation between the absolute humidity and the ionization current, it was found that the absolute humidity could be measured with a sensitivity of 0.4 g/m³ that is equal to 3% in relative humidity at 20°C. The continual measurement of absolute humidity was carried out to confirm the performance of the sensor.

(Key words : sensor, humidity, absolute humidity, alpha-ray, ionization)

1. Introduction

Many types of humidity sensor and hygrometer have been studied¹⁾. Each of them has individual merits and demerits and are used in suitable fields at which humidity measurements are needed. It has been reported by Burbidge and Alexander²⁾ that the ionization current caused by alpha-rays decreased slightly due to humidity. But, the further works based on their

*University of Industrial Technology

**Department of Chemical Science and Engineering

study and applied to practical humidity measurements have not been done for a long time because the decrease in the ionization current due to humidity was too small and it seemed to be difficult work.

The relative humidity was measured using a double cylindrical ionization chamber with alpha-rays by one of the authors³⁾⁴⁾. The double cylindrical ionization chamber consisted of two chambers for humid air to be measured and for dry air to be assumed 0% in relative humidity. Both positive and negative potentials were applied to the walls of both chambers independently so that the output current of the double ionization chamber became zero when the air in both chambers was kept dry. The temperature effect on the output ionization current was compensated by a thermistor used in an operational amplifier to measure the relative humidity. The amplified output ionization current was directly proportional to the humidity. Therefore, the humidity could be measured with an accuracy of $\pm 5\%$ in relative humidity in the temperature range from 10°C to 35°C. However, there were two disadvantages in the cylindrical ionization chamber. The first was the wall effect which meant that the ionization current changed slightly by temperature because the distance between the two electrodes was shorter than the range of alpha-rays in the chambers. The second was the polarity effect of the electrode which meant that the ionization current changed slightly by the polarity of applied voltage to the electrode. As a result of these effects the ionization current of each chamber was affected significantly by temperature and atmospheric pressure changes.

To improve the above effects and investigate the relation between the ionization current and an amount of water vapor contained in the air, two parallel plate ionization chambers for dry air and for humid air were constructed⁵⁾. The diameters of the collecting and high voltage electrodes of the chamber were 120mm and 170mm, respectively. The distance between the two electrodes was fixed at 50mm which was enough longer than the maximum range of alpha-ray which was about 38mm in the air at room temperature. The differences in the ionization currents of the both chambers were measured and it was shown that the differences in the ionization currents were independent of temperature and atmospheric pressure. The absolute humidity could be measured with an accuracy of 2% in the ranging up to 30g/m³ that was equal to 80% in relative humidity at 35°C.

A single small-sized parallel plate ionization chamber was constructed here as a new-type absolute humidity sensor.

2. Small-Sized Ionization Chamber

An absolute humidity sensor was constructed as shown in Fig. 1. The sensor consists of two sections of a small-sized parallel plate ionization chamber and an operational amplifier circuit which converts the ionization current to the output voltage. The size of the sensor is 70 mm in

diameter and 130 mm in length. The lengths of the chamber and the amplifier sections are 45 mm and 85 mm, respectively. Two electric electrodes of a high voltage electrode and a collecting electrode in the chamber were made of brass plates and are 50 mm in diameter and 3 mm in thickness. The surfaces of them are polished and finished to mirror surfaces with chemical compound. The plate of the high voltage electrode has a small hole of 3 mm in diameter at the center of it and a sealed alpha-ray source of ^{244}Am , of which the size is 5 mm $\times$ 5 mm, is placed at the back side of the plate so that the alpha-rays passing through the hole are emitted into the whole space between the two electrodes and make a large number of ion pairs along a path of each alpha-ray. The activity of the source, which emits alpha-rays with the energy of 5.4 MeV, is 3.7 MBq (100 μ Ci) and the maximum range of them are about 38 mm in the air at room temperature. In order to set the distance between the two electrodes short and to remove the wall effect, alpha-rays are attenuated by means of a mylar film of 1.3 mg/cm² in mass thickness which is placed on the surface of the source. The distance of the two electrodes is fixed at 15 mm that is enough longer distance than the maximum range, 12 mm of weakened alpha-rays. The outside of the chamber is enclosed with copper meshes to shield the electric field from outside.

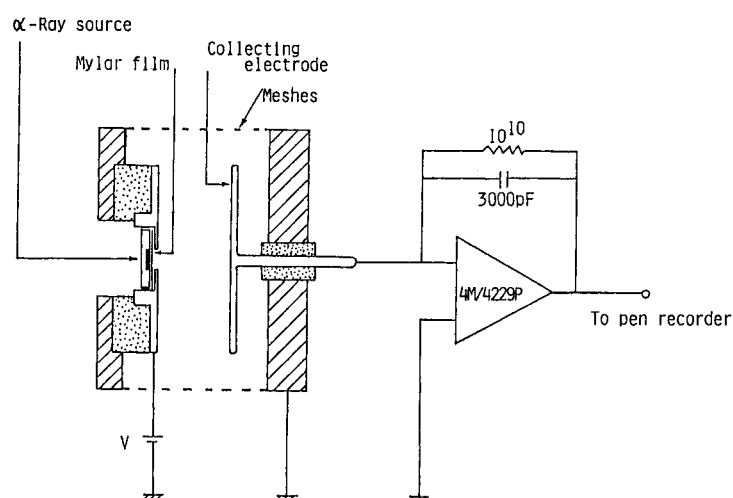


Fig. 1. Ionization absolute humidity sensor. It consists of both sections of a small-sized parallel plate ionization chamber and an operational amplifier circuit. The size of the sensor is 50 mm in diameter and 130 mm in length. The collecting electrode is 50 mm in diameter and 3 mm in thickness. The distance between the two electrodes is 15 mm. The alpha-ray source is a sealed source, ^{241}Am of which size is 5 mm $\times$ 5 mm.

The ionization current caused by alpha rays in the air of the chamber was measured by the operational amplifier (4M/4229P) with a feedback high resistance of $10^{10} \Omega$. The time constant

of the amplifier was set at 30 sec. The section of the amplifier circuit in the sensor was kept dry by connecting a small glass bottle filled with silica gel. The ionization current was measured and recorded by using a pen recorder.

3. Experimental results

The ionization current of the chamber was measured in dry air and humid air in which the humidity was controlled constant. The relations between the ionization currents and humidities were obtained from the experiments described as below.

The ionization current was measured in dry air at 10°C, 24°C and 40°C against the applied voltage to the electrode as shown in Fig.2. As can be seen in the figure, the ionization current shows the nearly constant values of 4×10^{-10} A (400 pA) above the applied voltage of 200 volts which is called as the ionization region in the ionization curve of a general ionization chamber. The values of ionization currents did not depend on the temperature because almost all of the ion pairs produced by alpha-rays in the space between the two electrodes were collected without the wall effect in the chamber.

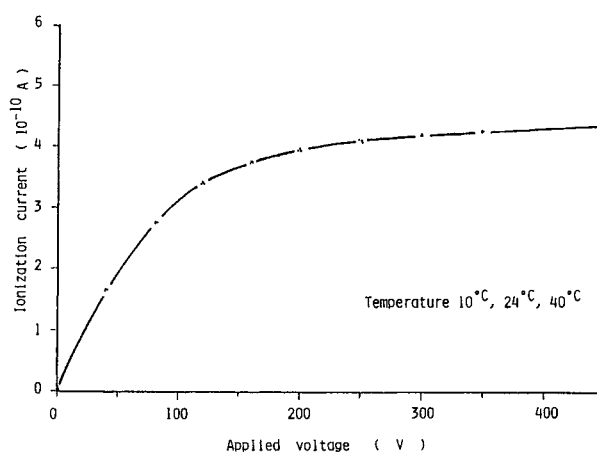


Fig. 2. Ionization current in dry air vs applied voltage in the temperature range from 20°C to 40°C.

The changes in the ionization current due to the temperature in the present chamber and in the double cylindrical ionization chamber³⁾ are compared as shown in Fig. 3. In the figure, the horizontal axis shows the temperature and the vertical axis shows the changes in the ionization current against the values at 24°C and 27°C. The ionization current in the double ionization chamber changed totally 6% in the temperature range from 10°C to 40°C as shown by triangles that was almost equal to that caused only by a change of 80 % relative humidity. On the other hand, the present chamber kept constant value within 0.3 % as shown by circles. Also, the

change in the ionization current for atmospheric pressure change from 754 hPa to 769 hPa in room was within 0.4 %. These results show that the present small-sized chamber becomes more effective against for temperature and atmospheric pressure changes.

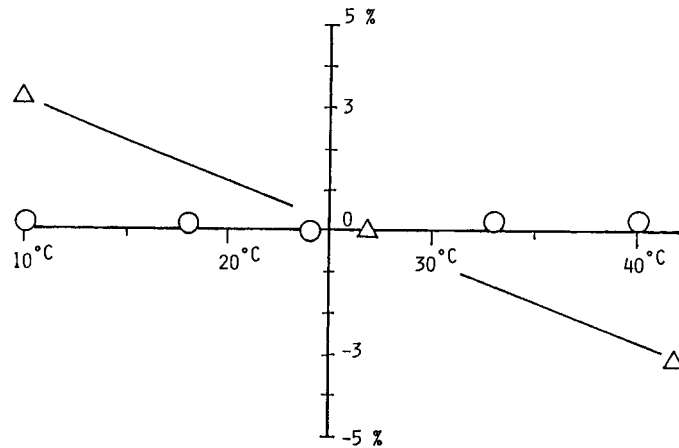


Fig. 3. Changes in the ionization currents of the present sensor denoted by circles and the double cylindrical chamber denoted by triangles against the temperatures in the range from 20°C to 40°C.

To evaluate the humidity measurement by the small-sized chamber, the decrease ratio between the ionization currents in dry air (0 % relative humidity) and in 80 % relative humidity at 20°C was calculated at each intensity of the ionization current which corresponded to the activity of the source and obtained as shown in Fig. 4.

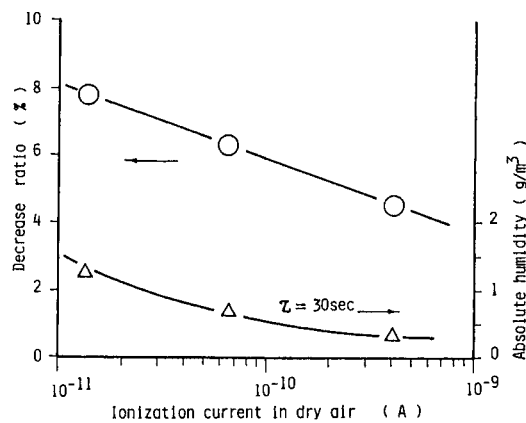


Fig. 4. Decrease ratio due to humidity and sensitivity for absolute humidity at 20°C against the intensity of ionization current. The decrease ratio was defined as the ratio of the difference between the ionization currents in dry air and in 80 % relative humidity and the ionization current in dry air.

Here, the decrease ratio was defined as the ratio of the difference between the ionization currents in dry air and in 80% relative humidity and the ionization current in dry air decreases from 7.8 % to 4.5 % with an increase of the ionization current. This decrease is considered to be due to slightly decrease of recombination coefficient of ion pairs produced by alpha-rays, but detailed analysis about it has not done yet. The weaker ionization current causes the larger decrease due to humidity, but it brings an increase of fluctuations in the ionization current and makes the measurement sensitivity for humidity worse. The vertical axis on the right side in the figure shows the measurement sensitivity for absolute humidity at each ionization current at the time constant, 30sec of the amplifier circuit. The measurement sensitivity is getting better from 1.3 g/m^3 to 0.4 g/m^3 with an increase of the ionization current. From the point of view of a high measurement sensitivity, the intensity at the point where the ionization current was 413 pA and the sensitivity was 0.4 g/m^3 , that was equal to 3 % in relative humidity at 20°C , was employed and used in the experiments and the relations between the ionization current and the relative humidity, the absolute humidity were obtained from the experimental results.

The measurement results of ionization currents in various humidities at 20°C under atmospheric pressure is shown in Fig.5 . The chamber was set in a cubic box of 12 liters in volume and the

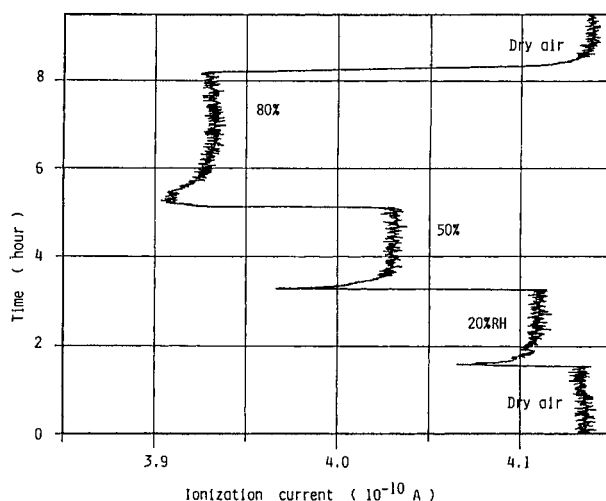


Fig. 5. Measurement result of ionization current in the relative humidities of 0 % (dry air), 20 %, 50% and 80 % at 20°C .

humidity in the box was controlled at desired levels by sulphuric acid in a petri dish. The humidity was also checked by a hair hygrometer. First, the air in the box was made dry (0 % in relative humidity) by means of calcium chrolide and then the relative humidity changed to 20 %, 50 % and 80 % in turn. The ionization current showed 413 pA and decreased to 411 pA, 403 pA and 393 pA in 20 %, 50 % and 80 % relative humidity, respectively. Therefore, changes of 80 %

relative humidity caused a net decrease of 20 pA in the ionization current which was about 5 % decrease against the value in dry air.

The measurement result at the temperature of 30°C is also shown in Fig. 6. Change of 80 % in relative humidity caused a net decrease of 25 pA which was about 6 % decrease against the value in dry air. It can be seen in the figure that the ionization currents decreased more compared with those in the same relative humidities at 20°C because the decrease in ionization current depends on the absolute amount of water vapor contained in the air.

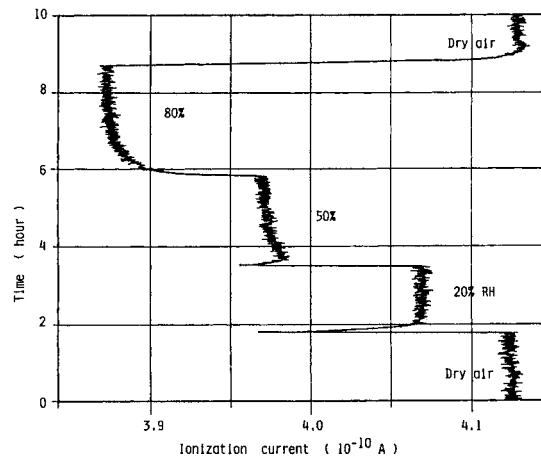


Fig. 6. Measurement result of ionization current in the relative humidities of 0 % (dry air), 20 %, 50 % and 80 % at 30°C.

The relation between the relative humidity and the ionization current was obtained as shown in Fig.7 at the temperatures of 20°C, 30°C and 40°C. The ionization current in 0 % relative

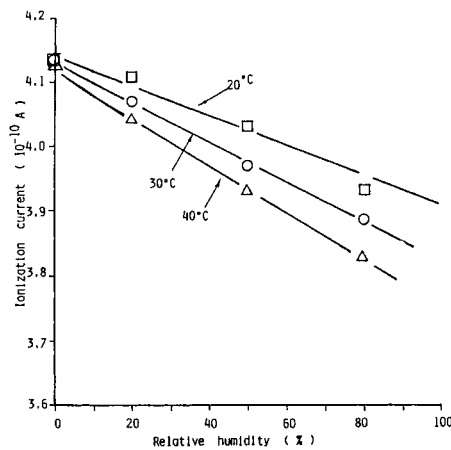


Fig. 7. Relation between the ionization current and the relative humidity in the temperature range from 20°C to 40°C.

humidity shows the same values of 413 pA at each temperature which indicates that the wall effect can be removed. The ionization current was inversely proportional to the relative humidity at each temperature and as described above the decreases in the ionization current are different with the temperature.

The relation between the absolute humidity and the ionization current was obtained in the same temperature range as shown in Fig. 8. As can be seen in the figure, the ionization current is inversely proportional to the absolute humidity in the range from 0 to 25 g/m³. Therefore, the absolute humidity could be measured directly from the ionization current of the small-sized chamber.

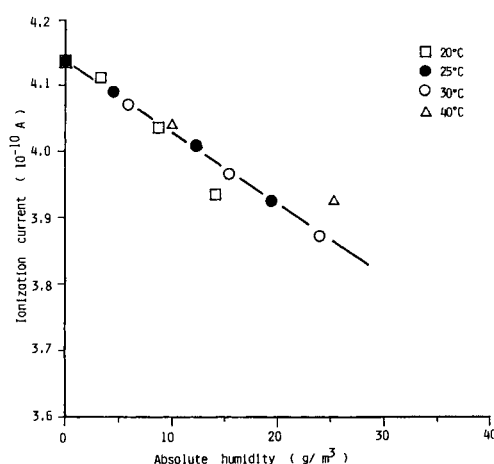


Fig. 8. Relation between the ionization current and the absolute humidity in the temperature range from 20°C to 40°C.

In order to test the performance of the small-sized chamber the absolute humidity was measured continually by alternately repeating opening the door of the box into the room air and closing it as shown in Fig. 9 in which both of the temperature and the ionization current were recorded against time. The scale of ionization current in the figure was converted to absolute humidity using the relation in Fig.8. Until opening the door, the temperature and the absolute humidity were kept constant of 26.5°C and 17 g/m³, 68 % in relative humidity, respectively. When the door was opened at the time t_1 the temperature decreased to 22.5°C and also the absolute humidity decreased rapidly to 9 g/m³, 48 % in relative humidity, which was equal to room humidity. At the time t_2 , the door was closed again the temperature and the absolute humidity went back to the initial values. At the time t_3 , the door was opened again to test the changes in temperature and absolute humidity. From this practical measurement result it was confirmed that the small-sized chamber is useful to measure absolute humidity as a new-type ionization absolute humidity sensor.

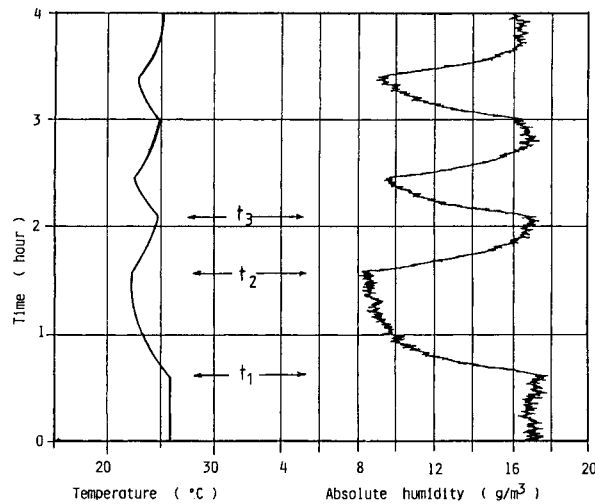


Fig. 9. Practical measurement result of the absolute humidity.

4. Conclusions

A simple ionization absolute humidity sensor was devised. It consisted of a small-sized parallel plate ionization chamber with a sealed alpha-ray source, ^{241}Am , 3.7 MBq for supplying ion pairs and an amplifier circuit for measuring the ionization current of the order of 10^{-12} A. The size of the sensor was 50 mm in diameter and 130 mm in length. The distance between the two electrodes of the chamber was set at 15 mm which was enough longer than the maximum range of attenuated alpha-rays to remove the wall effect on the ionization current. The ionization current of the sensor was measured at various humidities and temperatures in the range from 20°C to 40°C under the atmospheric pressure. The relations between the ionization current and the relative humidity and also the absolute humidity were obtained from the experiments. It was shown that the ionization current is inversely proportional to the absolute humidity in the range of 0 to 25 g/m^3 because the decrease in the ionization current is caused by the absolute amount of water vapor contained in the air. It was found from the experimental results that the absolute humidity could be measured with a sensitivity of 0.4 g/m^3 in the temperature range from 20°C to 40°C that is equal to 3 % in relative humidity at 20°C . The practical measurement was carried out to test the performance of the sensor. The sensor devised here will be useful to measure the absolute humidity as a new-type one.

References

1. A. Wexler ed, Humidity and Moisture Vol. 1, Reinhold, New York, 1965.
2. B.W. Burbidge and N.S. Alexander, Electrical Methods of Hygrometry, Phys. Soc. Vol. 40, pp.149-155, 1927.

3. S. Matsumoto and H. Kobayashi, Humidity Measurement Using A Double Ionization Chamber With Alpha Rays, Nucl.Instr. and Meth. Vol. 184 , pp.603-604 ,1981.
4. S. Matsumoto and H. Kobayashi, A New-Type Hygrometer Using A Double Ionization Chamber With Alpha-Rays, Nucl.Instr. and Meth. Vol. A255 , pp.290-292, 1987.
5. S. Matsumoto and H. Kobayashi, Absolute Humidity Measurements Using Two Parallel Plate Ionization Chambers With Alpha-Ray Sources, Radioisotopes, Vol. 37 , pp. 375-379, 1988.

(Received, Sep. 25, 2002)

三宅島火山灰の土壌改良

平田房雄*, 庄司 良*, 成毛章容**, 須藤義孝***

Improvement of the volcanic ashes from Mt. Oyama for agriculture

Fusao HIRATA, Ryo SHOJI, Akihiro NARUKE, Yoshitaka SUDO

By the hydrothermal reaction in alkaline solution, volcanic ashes from Mt. Oyama in the Miyake-island, were examined in order to use them for soil of agriculture. By some previous researches, it has been found that a part of the sulfur in volcanic ashes will be removed by hydrothermal reaction in alkaline solution. Removal of sulfur should be due to the composition of volcanic ashes. In this study, we tried to remove sulfur by hydrothermal reaction, in terms of concentration of sodium hydrate, reaction time, and temperature to find the most reasonable conditions for sulfur removal. Moreover, some zeolites were created by the hydrothermal reaction. Also, we tried to examine water retentively of the improved soil.

(Key words : soil for agriculture, volcanic ashes, hydrothermal reaction, zeolites, water retentively)

1. 緒言

2000 年 7 月、三宅島雄山(東京都三宅村)が水蒸気爆発と見られる、第一回目の噴火を起こした。以降、数回の噴火を繰り返し、噴出した大量の火山灰は三宅島全土に堆積しており、また、火山性ガスの噴出もあって、島民の方々は島からの避難生活を余儀なくされている。

堆積して間もない火山灰土壌は、土壌として非常に未熟であり、水分を含んでいない状態では拡散性が高く大気中に浮遊粉塵として舞い上がり、多量に水分を含むと高い流動性を示し、土石流発生の原因ともなる。また火山灰土壌は保水性、保肥性も格段に低く、一般に土壌の最適 pH は 5.5~6.0 されているが、10% 程度の硫黄成分も含んでいることにより酸性へ傾き、農作物の育成、収穫も不可能である。そのため三宅島では現在、農業を始めとする畜産、漁業等の地域産業が壊滅状態となっている。

火山灰中に含まれる硫黄成分については、アルカリ水熱処理操作をするにより除去されるが、火山灰の元素組成等により最適脱硫条件は様々である。また、アルカリ水熱処理操作により火山灰が一部ゼオライトに転換されることが報告されており、これにより火山灰の保水性の向上も期待される。

本研究では、壊滅的な状態となっている農業

用土壌の改良のために三宅島に堆積する雄山火山灰にアルカリ水熱処理操作を施す事で、火山灰を脱硫及びゼオライト化し、火山灰を原料とする土壌改良剤を開発する事を目的とし、アルカリ水熱処理法による脱硫最適条件を検討し、加えて一部ゼオライト化することによって保水性の改善を試みたので報告する。

2. 実験

2.1 アルカリ水熱処理

フライアッシュや火山灰をアルカリ水熱処理することで、灰をゼオライトに転換できることは広く知られている。¹⁾ これはケイ素及びアルミニウムがアルカリ溶液に溶解し、添加されたナトリウムを取りこみゼオライト化されると考えられている。また、雄山の火山灰は水洗する事でかなり脱硫され、アルカリ水熱処理によって、アルカリ溶解性のある硫黄成分が溶解する事によって脱硫される。

2.1.1 火山灰

雄山の噴火後、東京都三宅村にて採取された雄山火山灰を試料として用いた。試料は 2000 年 7 月以降の雄山の噴火に伴い噴出した火山灰で、80℃乾燥炉で十分に乾燥させた後、篩にかけ、粒径を 600 μm 以下のものを用いた。元素組成を Table 1

に示す。

Table 1 Chemical composition of the
Volcanic ashes (wt%)

Si	Al	Fe	Ca
24.12	7.47	35.71	19.33
Ti	Mg	S	K,Mn,V,P
2.17	1.18	8.90	Less than 1.00

2.1.2 装置及び方法

実験装置図を Fig.1 に示す。水酸化ナトリウム溶液濃度、反応時間を変化させ、それぞれの条件で試料火山灰を処理した。処理した火山灰は、蛍光 X 線分析装置 (JEOL JSX-3220) を用いて硫黄含有率を、メトロノーム・シバタ製小型パーソナル pH 計を用いて pH をそれぞれ測定した。

火山灰質量の 10 倍量の水酸化ナトリウム溶液を加え、濃度を、0、0.05、0.1、0.5、1、2、4mol/l、反応時間を 1、3、6、24 時間と変化させ、それぞれの条件にてアルカリ水熱処理を行った。加えて、あらかじめ塩酸溶液にて火山灰の脱硫を行った後、アルカリ水熱処理を行った。これも塩酸、水酸化ナトリウム濃度を 0.05、0.1、0.5、0.75、1mol/l、反応時間を 1、3、6、24 時間と変化させた。

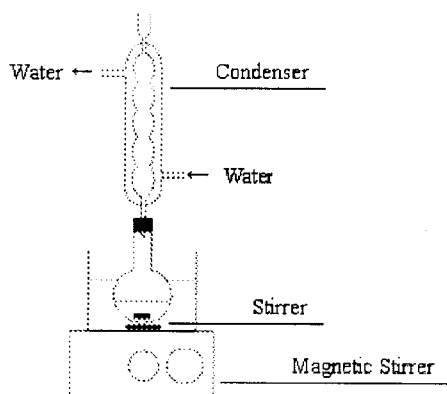


Fig.1 Experimental apparatus

2.2 水分特性*)

土壌に含まれる水の化学ポテンシャルは、水の表面張力や土壌粒子の吸着力によるマトリックスポテンシャル成分、溶質を含むことによる浸透ポテンシャル成分、それに位置による重力ポテンシャルとから構成されている。土壌の水分特性は、このうちのマトリックスポテンシャルと土壌の含水量との関係を表したものである。この関係を描いた曲線は、水分特性曲線と呼ばれる。土壌にかかるマトリッ

クポテンシャルはサクションと呼ばれ、水頭換算して (cmH_2O) 用いられる。つまり、土壌の吸引圧として表される。水頭換算の常用対数を取ったものを pF と呼ぶ。火山灰にかかるサクションは、土壌カラムの上方へ行くほど大きく、土壌カラムの下方へ行くに従い小さくなる。

2.2.1 装置及び方法

実験に用いた土壌カラムはアクリル樹脂製で、内径 15mm、高さ 30mm の円筒を 15 個前後縦に積み上げカラムとした。カラムの底部に試料の落下を防ぐ金網を取り付けた。円筒の接合には、漏水を防ぐため電気絶縁用ビニールテープを用いた。

カラムにアルカリ水熱処理後の火山灰を入れ、24 時間水槽で浸水させた。引き上げ後、12 時間放置し試料を脱水した。脱水後、土壌カラムを分離させ、各円筒中の、火山灰の湿潤質量を求めた後 80℃ 電気乾燥炉にて 24 時間乾燥させ、乾燥質量を求めた。湿潤質量、乾燥質量の値から各カラムの火山灰の含水比を求め、水分特性曲線を描いた。

3. 結果及び考察

3.1 雄山火山灰の pH

水素イオン濃度による土壌の分類表を、Table 2¹⁾ に示す。この分類に従うと、雄山火山灰は pH4.02 であり、極強酸性土壌に分類され、この強い酸性は火山灰中の硫黄成分に起因していると考えられた。火山灰を農業用地として使用する際には脱硫操作が必要であることが確認された。

一方、アルカリ土壌の改良に硫黄が使用されていることもあり、この火山灰の性質を利用して、未処理のままアルカリ土壌に散布し、土壌改良剤として用いることも可能であると考えられる。

3.2 水洗による脱硫

まず、アルカリ水熱処理を行わず、水による洗浄での脱硫を試みた。蒸留水を用いて 1 時間程度攪拌水洗で、72% の硫黄が除去出来、水洗によっても高い脱硫率を示すことがわかった。

Table 2 Classification of soil for aquicultural use

~4.5	4.5~5.0	5.0~5.5	5.5~6.0	6.0~6.5	6.5~
Quite acidity soil	Strong acidity soil	Acidity soil	Weak acidity soil	Slight acidity soil	Neutrality soil

火山灰中に存在する硫黄は、灰が噴火により噴

出することから、酸化物の形態をとると考えられている。そこで硫黄成分としてまず考えられる化合物は、硫酸塩及びチオ硫酸塩である。Table 1 に示した元素組成より、塩として考える得る化合物は、硫酸アルミニウム、硫酸カルシウム、硫酸鉄、チオ硫酸カルシウム、チオ硫酸鉄である。一方、水洗前と水洗後の組成を比べると、減少していた元素は硫黄、カルシウム、鉄の三元素で、アルミニウムの減少は認められなかった。硫酸アルミニウム、硫酸カルシウム、硫酸鉄は水に難溶であるが、チオ硫酸カルシウム、チオ硫酸鉄は水に易溶であることから、水洗により除去された、硫黄成分は、これら二つの化合物由来であると考えられる。

しかし、水洗により72数%の硫黄が除去されても硫酸アルミニウム、硫酸カルシウム、硫酸鉄に由来する硫黄成分は残留している為、pHは4.6であり、Table 2 においては強酸性土壌に分類される。

3.3 アルカリ水熱処理による脱硫

アルカリ水熱処理後の火山灰の脱硫率と、処理溶液の水酸化ナトリウム濃度の関係を Fig. 2、反応時間との関係を Fig. 3 に示し、酸処理した後にアルカリ水熱処理した火山灰と濃度の関係を Fig. 4、反応時間との関係を Fig. 5 に示した。Fig. 2 より、アルカリ水熱処理による火山灰の脱硫において、脱硫率は水酸化ナトリウム濃度に依存し、水酸化ナトリウム濃度が高い方が脱硫率も大きくなった。また Fig. 3 より、反応時間6時間までは反応時間延長に伴い脱硫率は増加したため、脱硫率は反応時間にも依存した。しかし水酸化ナトリウム濃度が低い場合、脱硫率の反応時間への依存度は低く、水酸化ナトリウム濃度が高くなるに従い反応時間に依存する傾向が確認された。また脱硫率の変化については、6 時間程度で平衡に達した。このことから、雄山火山灰の最適脱硫時間は6 時間となった。Fig.4、5 の火山灰の酸溶液による脱硫については、塩酸、水酸化ナトリウム溶液濃度が低い条件では、若干高い脱硫率を示したのもあったが、全体を通して、ほぼ水酸化ナトリウム単独での処理の時よりも低い値を示した。溶液を二種類使うことでコストも高くなり、酸溶液による脱硫は有効ではないと考えられた。Fig.6 に、アルカリ水熱処理前後の火山灰のpHを示した。

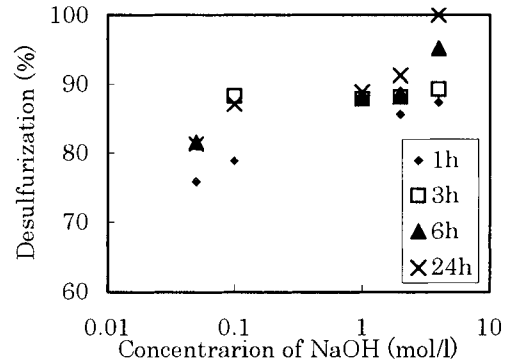


Fig.2 Relationship between concentration of Sodium hydrate and desulfurization

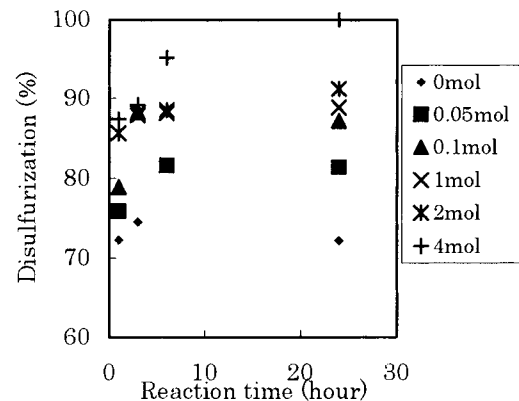


Fig.3 Kinetics of desulfurization in various concentrations of sodium hydrate solution

農業用土壌として適正な pH は6~7 である。処理前の火山灰の pH は 4.02 であり、かなり低い値を示した。また水で処理しただけでは、pH は 4.5 付近を示し、農業用土壌として添加するのには適していないことがわかる。水酸化ナトリウム溶液濃度 0.05mol/l の処理後の pH は 7 付近であり、処理に用いる水酸化ナトリウム溶液濃度としては、0.05mol/l が最適であることがわかる。Fig.3 から水酸化ナトリウム溶液濃度 0.05mol/l で処理した際の脱硫率は 80% 程度であり、火山灰の脱硫率に関しては、80% で十分であるといえる。含まれている残りの硫黄は、土壌を酸性へ傾ける硫黄原子そのものではなく、酸性度に寄与しない硫酸イオンや亜硫酸イオンとしての硫黄であると考えられるため、土壌として含まれるのに支障はないと考えられた。

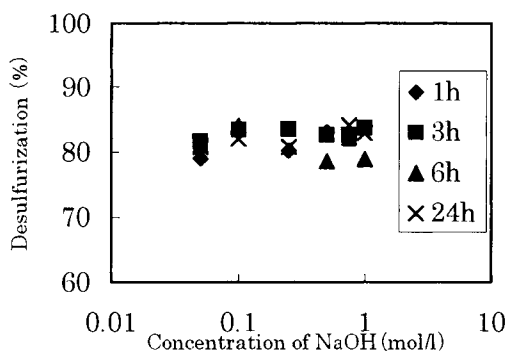


Fig.4 Relationship between concentration of Sodium hydroxide and desulfurization after HCl treatment

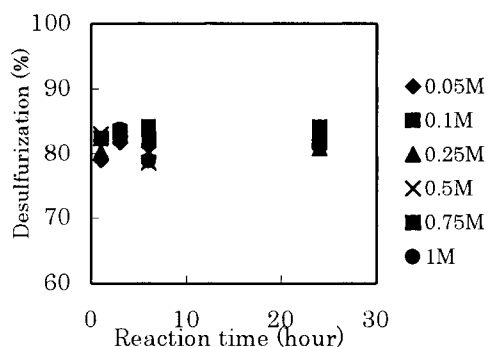


Fig.5 Kinetics of desulfurization in various concentrations of sodium hydroxide solution after HCl treatment

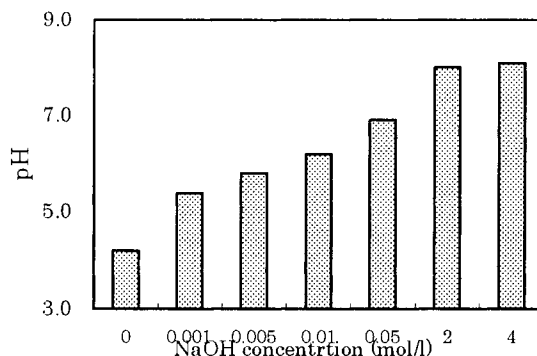


Fig.6 Changes in pH of the volcanic ash before and after hydrothermal treatment (reaction time, 6hrs)

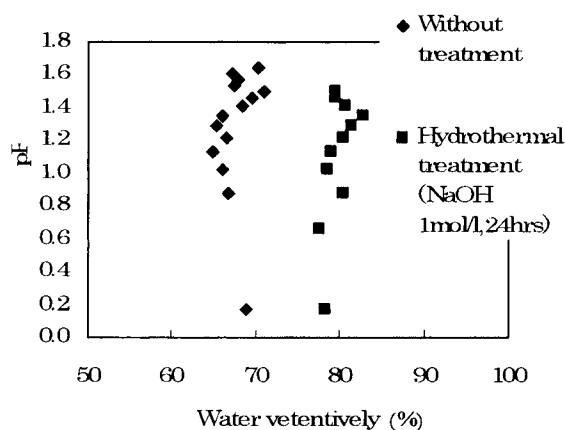


Fig.7 Water characteristic curve

3.4 水分特性曲線

Fig.7 には、未処理の雄山火山灰と、水酸化ナトリウム溶液濃度 1mol/l 中で 24 時間処理した、一部ゼオライト化していると期待される火山灰の水分特性曲線を示した。未処理の火山灰よりも処理後の火山灰の方が 10~20% 大きい保水性を示し、アルカリ水熱処理により火山灰の保水性が向上することが確認された。実際、同じ条件でアルカリ水熱処理したものを X 線回折で測定したところゼオライト由来のピークが確認され、アンモニア吸着実験においてもアンモニア吸着できることが認められている。²⁾

4 結言

三宅島雄山火山灰の化学的処理による脱硫及びゼオライト化を試みたところ、以下の事項が明らかになった。

・脱硫操作には、水酸化ナトリウム溶液を用いるアルカリ水熱処理が適していた。

- ・アルカリ水熱処理による脱硫では、脱硫率は水酸化ナトリウム溶液濃度に比例して高くなった。
- ・雄山火山灰のアルカリ水熱処理による脱硫の最適条件は、水酸化ナトリウム溶液濃度 0.005mol/l、反応温度常温、反応時間 6 時間であった。
- ・雄山火山灰を土壌として添加するのに適正な脱硫率 85% 以上が実現できた。
- ・アルカリ水熱処理により、雄山火山灰の保水性は向上した。

5 文献

- 1) 須藤義孝他；第 15 回日本吸着学会研究発表会 講演要旨集、p37、2001 年
- 2) 中野、宮崎、塩沢、西村 “土壌環境物性測定法” 東京大学出版会 (1995)

(平成14年 9 月30日 受理)

『新撰万葉集』注釈稿(上巻 秋部 五三(五四))

一般科目 津 田 潔 ・ 共立女子大学 半澤 幹 一

The Annotation of the Shinsen-man'yōshū (9)

Kiyoshi TSUDA, Kan'ichi HANZAWA

This paper is the annotation of the Shinsen-man'yōshū edited in 893?
(Key-word: the Shinsen-man'yōshū)

53 不散軀 兼手曾惜敷 黄葉々々 今者限之 色祗見都例者

散らねども かねてぞ惜しき もみぢばは 今は限りの 色と見つれば

【校異】

第二句の「兼」を永青文庫本・久曾神本・林羅山本・無窮会本は「包」とし、永青文庫本・久曾神本は第二句の「敷」を「杵」、結句の「例」を「礼」とし、第三句の「々」を欠く。付訓では、第一句の「散らねども」を藤波家本は「散らずとも」とする。

同歌は、寛平御時后宮歌合(十巻本、秋歌、九六番)にあり、また古今集(巻五、秋歌下、二六四番)に「寛平御時きさいの宮の歌合のうたよみ人しらず」として見られる(いずれも同文)。

【通釈】

(まだ)散らないけれども、もうその前から惜しいことだ、モミジの葉は、今まさに最後の色と思って見てしまうので。

【語釈】

散らねども 「散る」の主体は第三句の「もみぢ葉」であるが、当歌のように、それを打ち消して表現した例は万葉集には見られず、八代集

53 野樹斑斑紅錦装、

野樹斑斑として紅錦装へば、

惜来爽候欲闌光。 惜み来たる爽候の闌けなむと欲する光を。

年前黄葉再難得、 年前には黄葉再び得難ければ、

争使涼風莫吹傷。 争んぞ涼風をして吹き傷ること莫からしめんや。

【校異】

「斑斑」を底本等「班班」に作るも、元禄九年版本・元禄十二年版本・文化版本・道明寺本・京大本・大阪市大本・天理本・林羅山本・無窮会本・永青文庫本・久曾神本に従う。「惜来」を和学講談所本・京大本・大阪市大本・天理本「從來」に作る。「欲闌光」を京大本・大阪市大本・天理本「無闌光」に作り、永青文庫本・久曾神本「欲聞光」に作る。「莫吹傷」を永青文庫本・久曾神本「莫吹復」に作り「傷歟」の注記有り。

【通釈】

野外の木々がまだ模様となつて、紅色の地の錦繡による衣裳をまとったようになったので、爽やかな秋の季節の光景が盛りを過ぎていくとするのを惜しむことだ。年末までには紅葉はもう得難いことだから、何とかして涼風が木の葉を吹いて傷め落とすことの無いようにさせたいものだ。

にも「風ふけばおつるもみぢば水きよみちらぬかげさへそこに見えつづ」（古今集五―三〇四）や「をしむべきみやこのもみぢまだちらぬ秋のうちはかへらざらめや」（後拾遺集八―四六二）などが見られるのみ。**かねてぞ惜しき**「かねて」はある事柄の生起を前提として、それ以前に、前もつての意を表す。万葉集から用いられ、「かからむとかねて知りせば大御舟泊てし泊まりに標結はましを」（万葉集二―一五一）「かくばかり恋ひむとかねて知らませば妹をば見ずそあるべくありける」（万葉集一五―三七三九）などのように、「知る」の反実仮想の表現として類型的に多く見られる。当歌の用法に近い例としては「あしひきの山のあらしは吹かねども君なき夕はかねて寒しも」（万葉集一〇―二三五〇）、「神な月時雨もいまだふらなくにかねてうつろふ神なびのもし」（古今集五―二五三）「さくらばなさかばかりなんとおもふよりかねてもかぜのいとほしきかな」（後拾遺集一―八一）などの例がある。「惜し」については、『日本国語大辞典』第二版の「おしい」の「語誌」に「自然の推移や時間の経過により、変化したり消えつつある対象への、愛着の思いを表わす」とある。当歌の「惜し」の対象となるのは「もみぢ葉」であるが、「かねて」つまり「自然の推移や時間の経過により、変化したり消えつつある」以前という点で、通常の用法とは異なる。しかし万葉集には「うまさけ三輪の社の山照らす秋の黄葉の散らまく惜しも」（万葉集八―一五二七）「もみち葉を散らまく惜しみ手折り来て今夜かざしつ何か思はむ」（万葉集八―一五八六）などのように、「散らまく」すなわち今散っているのではなく、今後散るだろうという推量のもとに「惜し」が用いられているのであり、八代集にも「心もてちらんだにこそをしからめなどか紅葉に風の吹くらん」（拾遺集三―二〇九）のように見られる。**もみぢば**「もみぢば」は「もみぢ」と「葉」の複合語であり、その葉を表すという点で「もみぢ」と重なる。この両語は、万葉集でも八代集でもほぼ同程度あり、特に用法上の差があるとは認めがたい。当歌の表現における「もみぢば」は、上句「散らねどもかねてぞ惜しき」と下句「今は限りの色と見つれば」の両方と関わって

【語釈】

野樹 人の手を経ずに野外で生長した樹木。梁・虞騫「登鍾山下峯望詩」に「遙看野樹短、遠望樵人細」（『藝文類聚』鍾山）、李嶠「王屋山第之側雜構小亭暇日与群公同遊」詩に「席上山花落、簾前野樹低」、王维「献始興公」詩に「寧棲野樹林、寧飲澗水流」とある。**斑斑** まだら模様の意。「班班」とも。本集十六番詩【語釈】該項参照。戴叔倫「過故人陳羽山居」詩に「卻望夏洋懷二妙、滿崖霜樹晚斑斑」、小野岑守「雜言奉和聖製春女怨」詩に「庭前隱映茂青草、階上斑斑点碧錢」（『凌雲集』）とある。**紅錦裝** 紅色の地の錦繡による衣裳。慶滋保胤「冬日陪左相府少侯書閣同賦落葉波上舟」詩序に「閣東有碧瑠璃之水、水辺有紅錦繡之林」（『本朝文粹』卷十）とはあるものの、沙門奉蚌「思故郷」詩に「緑羅剪作三春柳、紅錦裁成二月花」（『千載佳句』春興、佚）、劉禹錫「春日書懷寄東洛白二十二楊八二庶子」詩に「野草芳菲紅錦地、遊糸撩乱碧羅天」（『千載佳句』・『和漢朗詠集』春興）、紀齊名「暮春遊覽同賦逐処花皆好」詩序に「山桃復野桃、日曝紅錦之幅、門柳復岸柳、風宛麴塵之糸」（『和漢朗詠集』春興、『本朝文粹』卷十）など、日中共に本来は花の形容として用いられる。**惜来** 「来」は語勢を強めるための助字で俗語。時に完了などのニュアンスを添える場合もある。ただし、この「惜来」の語の用例を日中共に知らない。異文「從來」では意味をなさない。異文「從來」は、和歌の「かねてぞ」を意識するようになるが見えるが、それでは「惜しき」を翻案しないことになるので、採らない。**爽候** 爽やかな秋の季節の意の和製漢語。本集五十番詩【語釈】該項参照。駱賓王「送宋五之問得涼字」詩に「雪威侵竹冷、秋爽帶池涼」という、「秋爽」などの語からの造語であろう。**欲闌光** 「闌」は、盛りを過ぎて衰微に向かうこと。尽きようとする前の状態をいう。たとえば、鮑溶「始見二毛」詩に「玄髮迎憂光色闌、衰華因鏡強相看」というのは、黒髪の色つやの衰えをいい、李頎「送司農崔丞」詩に「邑里春方晚、昆明花欲闌」というのは、晩春の花の衰えをいう。姬大伴氏「晚秋述懷」詩に「節候蕭条歲將闌、閨門靜閑秋日寒」（『文華秀麗集』述懷）

いる。**今は限りの** 結句の「色と見れば」まで射程に入れて、この句を検討してみると、二つの解釈の可能性がある。一つは「今は限り」の色と見れば、もう一つは「今は限りの色」と見ればである。結論から言えば、前者の解釈の方が妥当であろう。前者には、「今は限り」という形で、物事の最後という意味があり、「かりそめのゆきかひ」とぞ思ひこし今はかぎりのかどでなりけり」(古今集一六八六二)「忘れむといひし事にもあらなくに今は限と思ふものは」(後撰集一三九二四)などの例がある。後者は、「今は」は「見れば」を修飾するととり、「限りの色」という表現を認めるというとならえ方である。「限り」は時間、空間、数量・程度などの極限を表す。一般的には「かぎり」の形であり、「かぎりの」という表現は万葉集にはなく、八代集に「今は」を伴った「かりがねのくもるはるかにきこえしは今は限のこゑにぞありける」(後撰集一一七七七)「あまたたびゆきあふさかのせき水に今はかぎりのかげぞかなしき」(千載集一七一〇五七)、他に「思ひいでて問ふにはあらじ秋はつる色の限を見するなるらん」(後撰集七四三九)「ながむればおもひやるべきかたぞなき春のかぎりの夕ぐれのそら」(千載集二一一二四)などがあるが、「限りの色」という表現は見当たらない。古今集所載の同歌に対する諸注釈では、この「限り」を最後とするか最高とするかの二つに分かれる。最後という時間的な意味での「限り」は一般に認められ、「今は限り」という表現もその意味であるのに対して、最高という程度の意味での「限り」は「限なき君がためにとをる花はときしもわかぬ物にぞ有りける」(古今集一七七八六)「限なき名におふふちの花なればそこひもしらぬ色のふかさか」(後撰集三一一二五)などのように、むしろ「限りなし」という形で表されるのが普通であり、「限り」だけでは程度の「極限」は示しても「最高」という評価は伴わないので、「限りの色」を「最高の色」という評価表現としてはとりにくいであろう。**色と見れば** 「と見る」という表現については、本集二一番歌【語釈】「花とや見らむ」の項および二三番歌【語釈】「と見るまでに」の項を参照。類似の表現

というのは、一年も終わりに近づいたということ。「光」とは、「秋景」「秋光」(秋の輝き、秋の風景)のこと。梁・庾肩吾「山池应令诗」に「閨苑秋光暮、金塘牧潦清」(『藝文類聚』池)、唐・太宗皇帝「秋日即目」詩に「爽气浮丹阙、秋光澹紫宫」、白居易「宿简寂观」詩に「巖白雲尚屯、林紅葉初隕。秋光引閒步、不知身遠近」などがある。陳子昂「秋日遇荊州府崔兵曹使宴」詩に「林(一作秋)光稍欲暮、歲物已將闌」とある表現に近い。紀齊名「暮秋陪左相府書閣同賦菊潭花未遍各分一字应教」詩序に「既而白藏景闌、爽籟初起」(『本朝文粹』卷一一)、紀齊名「落葉賦」に「至彼涼氣半闌、爽籟初起」(『本朝文粹』卷一一)とある。異文「無闌光」「欲闌光」では、意味をなさない。**年前** 年末というのに同じ。本集十九番詩【語釈】該項参照。**黄葉** 秋になって黄色く赤く色づいた木の葉。中国では六朝以前は「黄葉」が主流で、盛唐以後に「紅葉」の表記が多くなる。本集では「黄葉飄々混数音」(五五番)以下、十例近い用例を見るが、「紅葉」の表記はない。「黄葉紅色吐叢金」(二八六番)の表現もあるので、「黄葉」の表記が定着していたと見ていいだろう。なお静永健「黄葉」が「紅葉」にかはるまで「白居易と王朝漢詩とに関する一考察」(『白居易研究』創刊号、平成一二年五月)などを参照のこと。**再難得** もう一度手に入れることは難しい、の意。ただし、この語順は漢文法からいえば誤りで、本来「難再得」としなければならぬ。散文や六朝詩はむろんのこと、平仄を考慮する唐詩においても、杜甫「久雨期王將軍不至」詩に「歲暮窮陰耿未已、人生会面難再得」、錢起「春夜過長孫繹別業」詩に「佳期難再得、清夜此雲林」など、例外はない。紀長谷雄「仁和寺法華會記」にも「人身難可再得、善緣難可□望」(『紀家集』卷一四)とある。**争使** 「争」は、疑問や反語を表す俗語。「使」は、使役。白居易「遣懷」詩に「遂使四時都似電、争教兩鬢不成霜」、白居易「鷺子棲其三」詩に「見說白楊堪作柱、争教紅粉不成灰」とあり、具平親王「歲暮思春花」詩に「争教暖雨連宵□、又令和風逐日催」(『類題古詩』思)、源孝道「待月思殘菊」詩に「須依亭午能分別、争使籬東快照臨」(『類題古詩』思)とある。本集

としては、「わぎもこがくれなるぞめのいろとみてなづさはれぬるいは
つつじかな」（後拾遺集二―一五一）「この葉ちる時雨やまがふ我がそで
にもろき涙の色とみるまで」（新古今集六―五六〇）などある。

【補注】

上句の「散らねどもかねてぞ惜しき」という表現は、万葉集の「散ら
まく惜し」と同じ発想に基づくものであり、ただ「かねてぞ」とそれを
表立たせた点、そして下句でその理由も示した点で特色があると言える。
紅葉が散るのは秋の終盤であるから、「かねて」というのはその前つ
まり木の葉が「もみぢ葉」と認められる秋の中頃と考えられる。第四句
の「今は限り」を一種の慣用句として認めるならば、「今」とはいつか
という、その時点にこだわる必要はないが、最後の色ととらえた時、そ
れは何の最後なのかという問題が残る。

もみぢ葉自体に即せば、まだしばらくは散らずにあるのであるから、
色が移ろうとしても、最後というのはなじみにくい。その点、【語釈】
で取り上げた、「限り」に最高という意味を認めようとする理由がある
と言える。もみぢ葉自体でなくて、自分の見る最後という考え方もあり
えよう。つまり、まだこの後も見たいにもかかわらず、見るのは今回が
最後ということならば、「惜し」と表現することは考えられる。もつと
も、このような考え方をするには、対象となるもみぢ葉が身近にい

【比較・対照】

当の歌と詩は奇妙な対応関係になっている。すなわち、歌の内容は、例によってことばを補足しながら、詩の転句までにほぼ移されていると言える
にもかかわらず、ポイントとするところがまったくずれているのである。

ずれの第一は、歌がいわば点としての表現であるのに対して、詩が線あるいは面の表現であることである。たとえば歌の「今は限りの色と見つれば」
における、まさにその一時点の問題であるのに、詩の起句は「欲闌」という推移の過程に変えてしまっている。

第二は、第一と関わり、惜しいと思うことおよびその理由は、歌では主体の独自の見方によるものであるのに、詩では一般的な季節のあり方による
ものになっている点で、たとえば転句の「年前」云々は、歌とは決定的に異なっている。

結果的に、詩の方の主意は結句にあるとみなされるが、これは詩で付加された部分であって、当歌では紅葉が散るのを惜しむのは前提にすぎず、ま
してその事情にはまったく立ち入っていない。

したがって、当詩はむしろ、当歌がふまえ、そこからはみだそうとした、秋の紅葉を惜しむ歌一般にこそよく対応すると言える。

には「争使蕭郎一処群」（一二二番）とある。涼風 秋のはじめに吹

く寒い北風。『礼記』月令に「孟秋之月、涼風至、白露降、寒蟬鳴」

（『藝文類聚』秋）、『爾雅』に「北風謂之涼風」（『藝文類聚』風）とあ

る。陸士衡「擬古詩十二首擬明月皎夜光」詩に「歲暮涼風發、昊天肅明

明」（『文選』卷三〇）、戴叔倫「登樓望月寄鳳翔李少尹」詩に「陌上涼

風槐葉凋、夕陽清露溼寒條」、白居易「秋懷」詩に「涼風從西至、草木

日夜衰」、白居易「秋雨中贈元九」詩に「不堪紅葉青苔地、又是涼風暮

雨天」（『千載佳句』暮秋）とあり、安部広庭「五言秋日於長王宅宴新羅

客」詩に「蟬息涼風暮、雁飛明月秋」（『懷風藻』）とある。本集には「涼

風急扇物先衰」（六三番）とある。莫吹傷「吹傷」の語例を日中共に

知らないが、恐らくは、涼風が吹いて、美しい紅葉を傷め散らせること。

【補注】

韻字は「装」（下平声十陽韻）、「光」（下平声十一唐韻）、「傷」（下平
声十陽韻）で、陽と唐は同用。平仄は結句の「吹」が、仄声でなければ
ならないところが平声なので、そこに傷がある。

つでも見られるものではないという前提が必要となるが、もとより当歌
にそれを示す表現は他に見られない。

54 雁之声者 風丹競手 過礼輶 吾歟待人之 言伝裳無

雁がねは 風に競ひて 過ぐれども 吾が待つ人の 言伝ても無し

【校異】

永青文庫本・久曾神本は、本文末尾「無」の後に「芝」を加える。訓では二句目の「競」を底本は「きそひ」とするが、元禄九年版本・元禄十二年版本・文化版本・下沢文庫本により「きほひ」と改める。また、結句の「ことつて」を無窮会本は「をとつれ」、同じく結句の「なし」を京大本・大阪市大本・天理本は「なき」とする。

同歌は、寛平御時后宮歌合(十卷本、秋歌、九二番)にあり(ただし「かりのねは風にきほひてわたれどもわが待つ人のことづてぞなき」、新古今集(卷五、秋歌下、五〇〇番)に「だいしらず 読人しらず」としてある(同文)。

【通釈】

雁の声は風と競うようにして(素早く)通り過ぎるけれども、私の待っているあの人の(訪れはもとより)伝言もない。

【語釈】

雁がねは 「雁がね」については本集四六番歌【語釈】「鳴く雁がねぞ」の項を参照。本歌の場合、詠まれた状況や後続の表現などを勘案して、雁そのものではなく鳴き声ととっておく。 風に競ひて 「競」は

【校異】に示したように、「きそひ」とも「きほひ」とも訓める。ともに張り合うの意であるが、「きそふ」は万葉集に確例がなく八代集にも見られないのに対して、「きほふ」の方は「渡る日の影に競ひ」(伎保比)で尋ねてな清きその道またも会はむため(万葉集二〇一四四六九)などの確例があり、他に「今日降りし雪に競ひて我がやどの冬木の梅は花咲きにけり」(万葉集八一六四九)「秋風はとくとく吹き来萩の花散らまく惜しみ競ひ立つ見む」(万葉集一〇一二〇八)「夕されば雁の越え行く龍田山しぐれに競ひ色付きにけり」(万葉集一〇一二二四)などのように、自然現象と植物の変化との関係を「きほふ」と表現する例が見られる。八代集には新古今集所載の同歌一例しかない。本歌において

54 秋雁離離叫半天。 秋雁離離として半天に叫ぶ。

雲中見月素驚弦。 雲中に月を見て素しく弦に驚くならん。

微禽汝有知来意、 微禽汝来意を知ること有らば、

問道丁寧早可伝。 道を問ふて丁寧(なまじう)に早く伝ふるべし。

【校異】

「離離」を永青文庫本「鵲々」に作る。「叫半天」を京大本・大阪市大本・天理本「叩半天」に作り、天理本は「叫」を校注する。「見月」を永青文庫本「見影」に作る。「素驚弦」を林羅山本・無窮会本「索驚弦」に作り、底本・元禄九年版本・元禄十二年版本・文化版本・下沢文庫本・文化写本・藤波家本・和学講談所本・道明寺本・京大本「素」に「最」を校注する。「微禽」を類従本・無窮会本「微禽」に作って、類従本は「微」を校注し、元禄九年版本・文化写本は「微」に「微」を校注する。「汝有」を京大本・大阪市大本・天理本「海有」に作り、天理本には「本ノマ、」の注がある。「問道」を永青文庫本・久曾神本「遠向」に作り、京大本・大阪市大本・天理本「遠問」(あるいは「遠向」か)を校注する。

【通釈】

秋、南方に仲良く飛んでゆく雁が、上空で急に鋭い声で鳴いた。それは雲の中で(不意に)月を見て、弓の弦ではないかとびっくりしたからであろう。取るに足りぬ鳥である雁よ、(人間ならともかくお前のような存在には理解できないだろうが)お前が自分自身のここにやって来た理由(言伝を届ける)をもし分かっているならば、誠実に私の家までの道を尋ねて早く私にあの人の手紙を届けるがいい。

【語釈】

秋雁 秋に南に飛んでゆく雁。江淹「別賦」に「值秋鴈兮飛日、当白露兮下時」(『文選』卷一六)、楊巨源「寓居」詩に「夢中鄉信驚秋雁、窓下林声帶夜蟬」(『千載佳句』秋興、『新撰朗詠集』雁)、桑原腹赤「奉和聽擣衣」詩に「双双秋雁數般翔、閨妾當驚辺已霜」(『文華秀麗集』怨情)、菅原道真「二十八字謝醉中贈衣裴少監訓答之中似有謝言更述四韻

「きほふ」関係にあるのは「雁がね」と「風」であるが、両者を詠み込む例は多くあるものの、そのような関係としてとらえたものは他には万葉集にも八代集にも見当たらない。また、何に關して「きほふ」かと言え、**「雁がね」**を鳴き声とすると、音声的な大小とも考えられるが、次に続く**「過ぐ」**や上記の万葉集の諸例などから、時間的な遅速つまり速さに関する「きほふ」であろう。**過ぐれども**「過ぐ」の主体となるのは「雁がね」であるが、同様の例は万葉集に「春草を馬昨山ゆ越え来なる雁の使ひは宿り過ぐなり」（万葉集九一七〇八）、八代集にも「誰きけと鳴く雁金ぞわがやどのを花が末を過ぎがてにして」（後撰集七一三六一）「かりがねのかへるはかぜやさそふらむ過行く峰の花も残らぬ」（新古今集一一二〇）などあるだけで、鳥が「過ぐ」の主体となるのは「ほととぎす鳴きて過ぎにし岡辺から秋風吹きぬよしもあらなくに」（万葉集一七一一三九四六）や「夜やくらき道やまどへるほととぎすわがやどをしもすぎがてになく」（本集三八番、古今集三一五五四）などのように、ほとんどがホトトギスである。本歌のように声を主体とする例も「うぐひすの声は過ぎぬと思へどもしみにし心なほ恋ひにけり」（万葉集二〇一四四四五）「ほととぎすあかですぎぬるこゑによりあとなきそらをながめつるかな」（金葉集二一一一二）など見られる。本歌で雁が飛び行くのを「過ぐ」とするのは、「風に競ひて」という様態も含め、継続的な移動ではなく瞬間的な通過として表現しようとしたからであろう。**吾が待つ人の** 万葉集には「吾が待つ人」という表現はなく、「今日今日と我が待つ君は石川の貝に交じりてありといはずやも」（万葉集二二二二四）「山のはにいさよふ月の出でむかと我が待つ君が夜はふけにつつ」（万葉集六一〇〇八）などのように、「我が待つ君」という例が多い。一方、八代集には「我が待つ君」はなく、「ことならば折りつくしてむ梅花わがまつ人のきても見なくに」（後撰集一一二四）「思ひきやわがまつ人はよそながらたなばたつめのあふを見むとは」（拾遺集二二七七二）の二例、本歌と同じ表現が見られる。「待つ」の主体は詠み手自身であるから、「吾が」は連体詞一語としてでは

重以戲之」詩に「若有相思常服用、每逢秋雁付寒温」（『菅家文章』卷二）、菅原道真「重陽後朝同賦秋雁櫓声来応製」詩序に「秋雁者月令之賓、櫓声者風窓之聴也」（『本朝文粹』卷十一）、本集にも「唳唳秋雁乱碧空」（五九番）とある。**離離**『毛詩』邶風・匏有苦葉に「離離鳴鴈、旭日始旦」（『藝文類聚』鴈）とあり、毛伝が「離離、鴈声也」というように、雁などの鳥がなごやかに鳴き交わす声の形容と、宋玉「九弁」に「鴈離離而南游兮、鷓鴣啁啾而悲鳴」（『文選』卷三三）とあり、王逸が「雄雌和楽、群戲行也」というように、雁の雌雄が仲良くそろって群れ飛ぶ様の、二つの類似の意味を持つが、ここは「叫」の形容としては相応しくないことから、後者の意。また「邕邕」「唳唳」「雍雍」「靡靡」「嚶嚶」などに作る。ただ、唐詩にはこの語が雁の形容として用いられることは少ない。**叫半天**「叫」は、人が大声で誰かを呼ぶのが原義。そこから広く鳥獸や昆虫などの大きな鋭い鳴声にも用いる。武元衡「送李秀才赴滑州詣大夫舅」詩に「長亭叫月新秋雁、官渡含風古樹蟬」、孟郊「車遙遙」詩に「旅雁忽叫月、斷猿寒啼秋」とある。「半天」とは、天の中ほど。許棠「失題」詩に「半天初去雁、窮磧遠來人」とあり、嵯峨天皇「秋日入深山」詩に「半天極嶂煙氣入、暗地幽溪日影遲」（『凌雲集』）とある。異文「叩半天」は意味をなさない。恐らくは「叫」字の誤写。**雲中** 雲の中。応場「侍五官中郎將建章臺集詩」に「朝鴈鳴雲中、音響一何哀」（『文選』卷二〇、『藝文類聚』鴈）、賀蘭進明「行路難五首其四」詩に「君不見雲中月、暫盈還復欠」とあり、菅原道真「八月十五夕待月席上各分一字」詩に「不恨雲中天已晚、応知陰雨我三余」（『菅家文章』卷一）、菅原道真「早春閑望」詩に「雲中山色没、雨後水声喧」（『菅家文章』卷三）、大江以言「秋思入江山」詩に「吳松風処鱸魚臉、商嶺雲中素月眉」（『類題古詩』思）とある。**見月** 月が見えた。月が現れた。金立之「峽山寺翫月」詩に「山人見月寧思寢、更掬寒泉滿手霜」（佚、『千載佳句』月）、元稹「幽棲」詩に「尽日望雲心不繫、有時見月夜正閑」（『千載佳句』幽居、『和漢朗詠集』雲）、白居易「長恨歌」詩に「行宮見月傷心色、夜雨聞猿斷腸声」（『和漢朗詠集』恋）とあ

なく「吾(わ)」十主格助詞「が」ととらえられる。言伝ても無し

本文「言伝」は「ことつて」とも「ことづて」とも訓みうるが、おそらく古形であろう「ことつて」としておく。「ことつて」は「ことつつ」という動詞の連用形名詞で、伝言すること、または伝言をいう。万葉集には名詞の確例はなく、「…思ほしき 言伝てむやと 家問へば …」(万葉集一三―三三三六)や「…玉梓の 道をた遠み 間使ひも 遣るよしもなし 思ほしき 言伝て遣らず…」(万葉集一七―三九六二)のように「言伝て遣る」の形で見られるのみであるが、八代集では「山がつのかきほにはへるあをつづら人はくれどもことづてもなし」(古今集一四―七四二)以降、名詞の例がいくつか出てくる。本歌において伝言役を務めるのは雁であり、その関係の由来は本集四六番歌【補注】に述べたとおりであるが、「言伝て」ということばを用いた歌としては、「秋のよに雁かもなきてわたるなりわが思ふ人の事づてやせし」(後撰集七―三五六)「こひしくは事づてもせむかへるさのかりがねはまづわがやどになけ」(後撰集一九―一三八)「はつりのはつかにききしことづても雲ちにたえてわぶるころかな」(新古今集一五―一四一八)などがある。

【補注】

三句目末の「ども」を介して、上句と下句がなぜ逆接の関係にあるのか、多少分かりにくいところがある。雁が自分の所をあとと言う間に通り過ぎてしまうのは、自分あての伝言がないからに他ならないのであって、逆接ではなくむしろ当然の帰結と考えられる。

逆接によって対比されているのは雁と言伝てではなく、雁と「吾が待つ人」である。雁がいち早く訪れたことを、その鳴き声から知るのに対して、「吾が待つ人」は一向に訪れる気配がなく、伝言さえもない。この対比によってこそ、「風に競ひて」や「言伝ても」の「も」、そして逆接の「ども」が意味を持つと言える。寛平御時后宮歌合所収の同歌のように、「過ぎれども」ではなく「わたれども」、「言伝ても無し」ではなく「ことづてぞなき」の場合は、伝言役としての雁の故事そのものをふ

る。異文「見影」では、雁が自身の影を見ることになり、非。素驚弦

「素」は、「空」に同じ。「素王」「素封」などの語のように、名声はあっても実体が伴わない、逆に実質は素晴らしいのに名声が伴わない場合などに用いる。これも、月を弓だと誤解して、要らぬ恐れ、驚きを懐くこと。月を弓やその弦に喩えることは、李陵「与蘇武詩三首其三」に「安知非日月、弦望自有時」(『文選』卷二九)とあるその李善注に、「劉劉釋名曰、弦、月半之名也。其形一旁曲、一旁直、若張弓弛弦也」とあり、王褒「輕拳篇」詩に「俯觀雲似蓋、低望月如弓」、隋・明余慶「從軍行」詩に「劍花寒不落、弓月曉逾明」、白居易「暮江吟」詩に「可憐九月初三夜、露似真珠月似弓」(『千載佳句』暮秋、『和漢朗詠集』露)、大津皇子「五言遊獵」詩に「月弓輝谷裏、雲旌張嶺前」(『懷風藻』)などであるのを挙げるまでもなく、日中共に広く用いられた比喩。また、それに雁が驚くというの、李嶠「雁」詩に「望月驚弦影、排雲結陣行」、耿漳「賦得沙上雁」詩に「還塞知何日、驚弦乱此心」、錢起「送征雁」詩に「風急翻霜冷、雲開見月驚」、盧綸「至德中途中書事却寄李儋」詩に「路遠寒山人獨去、月臨秋水雁空驚」(『千載佳句』行旅)、菅原道真「聞早雁寄文進士」詩に「下弦秋月空驚影、寒櫓曉舟欲乱声」(『菅家文草』卷四)、村上天皇「成行寒雁去」詩に「驚弓斜避三更月、引櫓遙過万里雲」(佚、『新撰朗詠集』雁)などであるように、広く用いられた表現。異文「索」は、おそらく「素」の誤写。「最」は、あるいは「素」の訓「モ(トヨリ)」からの思いつきか。微禽 取るに足りない小さな鳥。晋・張華「鷦鷯賦」に「惟鷦鷯之微禽兮、亦摂生而受氣」(『文選』卷一三・藝文類聚「鷦鷯」、元稹「有鳥二十章其一八」詩に「當時主母信爾言、顧爾微禽命何有」とあり、菅原道真「詠樂天北窓三友詩」詩に「彼是微禽我儒者、而我不如彼多慈」(『菅家後集』)、藤原春海「立神詞對策」に「林豺至賤、尚記上春之期、水獺微禽、靡爽季秋之節」(『本朝文粹』卷三)、大江朝綱「重陽日侍宴同賦識秋天心製」詩序に「彼微禽之輪誠、自触物而催感者也」(『本朝文粹』卷一一)とある。異文「微」は、おそらく誤写。汝有「汝」は、無論雁に対する呼びか

まあただだけの歌に過ぎず、本歌のような対比性は浮かび上がってこないであろう。

ただし、本歌は本集においても、寛平御時后宮歌合および新古今集においても、恋ではなく秋の部に収められている。このことは、相手の訪れのない恋の悲しみを歌うものとしてよりも、孤独な秋の悲しみを（単に雁という素材を詠み込んでいただけではなく）主題としたものとして、本歌がとらえられていたことを示していると考えられる。

るものである。本集四五番詩【語釈】該項の記述を一部訂正する。 **早**

可伝 「可」は、勧める気持ちを表す。（言伝を）早く伝えるが良からう。

杜甫「送梓州李使君之任」詩に「五馬何時到、双魚会早伝」とある。

【補注】

韻字は「天・弦」（下平声一先韻）と「伝」（下平声二仙韻）で、両者は同用。平仄にも基本的な誤りはない。

詩の解釈に問題があるとすれば、転句の「来意」の内容を、自明のごとく手紙を届けることに限定したことであろうが、対応する和歌に「こ」とつて」の語があり、当時既に日中ともに雁の飛来がメッセンジャーの類推を直ちに起こさせるものであったとすれば、あながち無理な想定とは言えないだろう。この故事とその運用については、本集一四番・四六番の【語釈】などを参照のこと。

【比較・対照】

本詩は、大まかに言えば、歌の上句を前半、下句を後半に対応させ、各々の意をふまえたうえで、巧みに展開していると言える。歌の上句は雁の鳴き声の通過を歌うのみであるが、詩では「雁がね」を「叫」によって鳴き声にとらえ、しかもその鳴き方から承句のような事態を擬人的な理由として想定している。それとともに、歌が主に聴覚的な表現であるのに対して、詩は秋らしい情景の視覚的表現も付加している。

ただし、歌の「風に競ひて」や「過ぐ」という表現は詩では捨てられ、むしろ反対の状態を表すと見られる「離離」が用いられている。これは詩においては孤独な詠み手との対比を意図したゆえと考えられる。さらに、承句により夜という時間帯が設定されていることから、その対照はより際立つと言える。

詩の後半は、歌の下句に示された事実に基づき、雁に対して訴える形で、せめて手紙だけでも欲しいという詠み手の心情を表現している。雁書の故事は、もとより人間の意図によるものであって、雁はその習性を利用されたにすぎない。それを知っていながらあえて雁自身の意図つまり「来意」と

け。韋承慶「南中詠雁詩」に「不知何歲月、得与汝同歸」（『和漢朗詠集』雁）、白居易「放旅雁」詩に「雁雁汝飛向何處、第一莫飛西北去」、菅原道真「聞早雁寄文進士」詩に「憶汝先來南海上、夜尋落魄旧能鳴」（『菅家文章』卷四）とある。異文「海有」は、その草書体と「汝有」との混同。 **来意** 来訪の目的・意図。『後漢書』公沙穆伝に「有富人王仲、致産千金。謂穆曰、方今之世、以貨自通、吾奉百万与子為資、何如。対曰、来意厚矣。夫富貴在天、得之有命、以貨求位、吾不忍也」、『遊仙窟』に「彼誠既有来意、此間何能不答」とあり、『日本書紀』神代下に「坐定、因問其来意。時彦火火出見尊、対以情之委曲」とある。 **問**

道 目的地への道順を尋ねる。方干「陸処士別業」詩に「問道遠相訪、無人覚路長」、藤原冬嗣「扈從梵釈寺応製」詩に「一人問道登梵釈、梵釈蕭然太幽閑」（『文華秀麗集』卷中）とあるが、この語は詩文中では、生き方を尋ねるの意で用いるのが一般。異文「遠向」では意味を成さない。 **丁寧** 親切で細やかな気配りがある様。こと細かく行きとどいている様。この語、元は行軍中に用いられた警戒を促すためのドラのこと。畳韻であるのは、本来その音の象声詞であることを物語るだろう。そこから、何度も忠告する、再三念を入れる、などの動詞としての本義が生じた。更に盛唐の頃から上記のような状語・形容詞としての用法が派生した。日本語「丁寧」の意は、この俗語としての唐宋の用法を今に伝え

みなすのは、今か今かと相手の訪れを待ち詫びている詠み手の切迫した心情を物語ると言えよう。
詩においては句同士をつなぐ接続詞の類は用いられないのが普通であるが、本詩は歌の逆接表現を補って余りある、前半と後半の内容的な対比が認められる。

（注） 本稿は、『共立女子大学文芸学部紀要』第四〇集～第四八集および『東京工業高等専門学校研究報告書』第二六号～第三三号の続稿である。

（平成一四年九月三〇日受理）

東京工業高等専門学校研究報告書

第 34 (2) 号

平成 14 年度

平成 15 年 1 月 10 日 発行

編 集 者 東京工業高等専門学校図書専門委員会

発 行 者 東 京 工 業 高 等 専 門 学 校

東京都八王子市櫛田町 1220 の 2

TEL 八王子 (0426) 68-5111

〒193-0997

印 刷 所 電算印刷株式会社

長野県松本市筑摩 1-11-30

TEL 松本 (0263) 25-4329

〒390-0821

The name of the journal has been changed from “*Research Reports of Tokyo National Technical College*” into “*Research Reports of Tokyo National College of Technology*” since the 1984 issue.

