

Research Reports of Tokyo National College of Technology

東京工業高等専門学校

研 究 報 告 書



第 36(1) 号

2004.9

東京工業高等専門学校研究報告書 第36(1)号 目次

「コーン」の意味—『われらの時代に』と『日は又昇る』の間に—	岩崎 健	1
技術事故の歴史的分類作業の試み—技術者倫理教育を展望して—	河村 豊	11
日本における経営倫理の現状と課題—技術者倫理教育を展望して—	浅野 敬一	21
ヒルベルト空間とその応用	拜田 稔	31
電流遮断法による電極系応答の理論的考察	柚賀 正光	39
電子レポート収集システムの開発	小坂 敏文 吉本 定伸 西村 亮 松林 勝志	45
完全相補系列を用いた CDMA システムにおける二種類の信号生成法の比較	小嶋 徹也 藤原 亜希子 矢野 健二 青野 正宏	49
土壌生態系影響評価指標としての陸棲貝類の可能性	庄司 良 浅野 浩一 平田 房雄	57
『新撰万葉集』注釈稿（上巻 秋部 六三～六四）	津田 潔 半澤 幹一	(1)

Research Reports of Tokyo National College of Technology No. 36 (1)

CONTENTS

Tatsuru IWASAKI	A Meaning of "Cohn"	1
	—Between <i>In Our Time</i> and <i>The Sun Also Rises</i> —	
Yutaka KAWAMURA	An Attempt at the Grouping Studies of Technology Related	11
	Accidents Historically	
	—With the Prospects for Education of Engineering Ethics—	
Keiichi ASANO	The State and Problem of Business Ethics in Japan	21
	—With the Prospects for Education of Engineering Ethics—	
Minoru HAIDA	Hilbert Space and its Application	31
Masamitsu YUGA	Theoretical examination of response potential on electrodes by	39
	current interruption.	
Toshifumi KOSAKA	Development of Collecting Homework System with Website	45
Sadanobu YOSHIMOTO		
Makoto NISHIMURA		
Katsushi MATSUBAYASHI		
Tetsuya KOJIMA	On the Efficiency of Two Signal Design Methods for the CDMA	49
Akiko FUJIWARA	System Using Complete Complementary Codes	
Kenji YANO		
Masahiro AONO		
Ryo SHOJI	Feasibility of terrestrial snails to evaluate impact of heavy metals	57
Koichi ASANO	on soil ecosystem	
Fusao HIRATA		
Kiyoshi TSUDA	The Annotation of the Shinsen-man'yōshū (11)	(1)
Kan'ichi HANZAWA		

「コーン」の意味

— 『われらの時代に』 と 『日は又昇る』 の間に —

岩 崎 健*

A Meaning of "Cohn"

— Between *In Our Time* and *The Sun Also Rises* —

Tatsuru IWASAKI

Hemingway's *The Sun Also Rises* (1926) begins with a detailed description of Robert Cohn who is not a main hero in this novel. This is an exception, because his other novels begin with a description of a main hero. Therefore Hemingway must give a special role to Cohn. What kind of role is given to Cohn?

Willa Cather says "The world broke in two in 1922 or thereabouts". And she seems to classify persons into two groups: the forward-goers and the backward-goers. The former belongs to the world after 1922 or thereabouts, the latter belongs to the world before 1922 or thereabouts. Cohn seems to be a backward-goer, then what does Hemingway intend by beginning with Cohn in *The Sun Also Rises*?

(Keywords : forward-goers, backward-goers)

ヘミングウェイ (Ernest Hemingway) の最初の本格的な長編小説『日は又昇る』 (*The Sun Also Rises*, 1926) は、彼の他の作品とは少々異なる。ヘミングウェイの他の作品はたいてい主人公の紹介から始まっている。

例えば『武器よさらば』 (*A Farewell to Arms*, 1929) は、「その年の夏の終り頃、私達は河を見渡すことのできるある村のある家に住んでいた」

("In the late summer of that year we lived in a house in a village that looked across the river")¹⁾

『午後の死』 (*Death in the Afternoon*, 1932) は、「初めて闘牛に行ったとき、馬に対してどんなことが起こるのか聞かされていたので、私はぞっとし、気分が悪くなるのではないかと思っていた」 ("At the first bullfight I ever went to I expected to be horrified and perhaps sickened by what I had been told would happen to the horses")²⁾、『アフリカの緑の丘』 (*Green Hills of Africa*, 1935) は「私達はワンデルボーの獵師達が太枝や小枝で作った潜伏所の中にいた」 ("We were sitting in the blind that Wanderobo had

built of twigs and branches")³⁾、『持つと持たざる』 (*To Have and Have Not*, 1937) は「……俺達は波止場から広場を横切ってやってきた……」

("Well, we came across the square from the dock..."⁴⁾、『誰がために鐘は鳴る』 (*For Whom the Bell Tolls*, 1940) は、「彼は森の褐色の松葉の上にぴたっと身を伏せていた」 ("He lay flat on the brown, pine needle floor of the forest")⁵⁾、『河を渡って木立の中へ』 (*Across the River and into the Trees*, 1950) は「……ハンターは射撃台の上に座っていた」 ("...The shooter sat on a shooting stool")⁶⁾、そしてノーベル賞の対象作品『老人と海』 (*The Old Man and the Sea*, 1952) は、「彼はメキシコ湾に小舟を浮かべ、一人で漁をしている老人だった」 ("He was an old man who fished alone in a skiff in the Gulf Stream")⁷⁾といった具合である。

以上のように、ヘミングウェイの全ての作品は主人公、もしくは主人公を含んだ人々の記述から始まっている。ところが、『日は又昇る』だけはそうではない。この作品は、次のような描写から

始まっている。

Robert Cohn was once middleweight boxing champion of Princeton. Do not think that I am very much impressed by that as a boxing title, but it meant a lot to Cohn. He cared nothing for boxing, in fact he disliked it, but he learned it painfully and thoroughly to counteract the feeling of inferiority and shyness he had felt on being treated as Jew at Princeton.⁸⁾

ロバート・コーンはかつてプリンストン大学のミドルウェイト級のボクシングチャンピオンだった。そのようなボクシングのタイトルの中で私が大変な感銘を受けているなどというふうには思わないでほしい。でもそのことはコーンにとっては大変に意味があった。彼はボクシングなど好きではなかった。実際、ボクシングなど嫌いだった。しかし彼は、プリンストン大学でユダヤ人として扱われたことで感じていた劣等感と恥ずかしさを追い払おうと、ボクシングを痛ましい位、徹底的に習ったのだ。

このようにこの作品は、「ロバート・コーン」という人物の描写から始まる。なるほどこの作品の主人公である「私」("I")がこの直後に描写されている。しかしそれは一瞬のことで、この後また延々とロバート・コーンのことが中心に語られていく。「第1章」「第2章」、ページにして11ページほどがコーン中心に語られ、主人公である「私」は脇役に回されている。

このような構成は、フィッツジェラルドの傑作『偉大なるギャツビー』(*The Great Gatsby*, 1925)に酷似している。

In my younger and more vulnerable years my father gave me some advice that I've been turning over in my mind ever since 'Whenever you feel like criticizing anyone,' he told me, 'just remember that all the people in this world haven't had the advantages that you've had'.

He didn't say any more, but we've always been unusually communicative in a reserved way, and I understood that he meant a great more than that.⁹⁾

私がおっと若くて傷つきやすい年頃だったとき、父はある忠告を与えてくれた。その時以来私はその忠告を心の中で繰り返している。「誰かを批判したくなったら」と彼は言った、「この世の全ての人が必ずしも自分と同じように恵まれているわけではない、ということをおぼえてはいけない」

彼はそれ以上は語らなかった。でも私達はいつだって控え目な方法で心が通じあっていた。それで私には、そこにはこれ以上の意味が込められていると分かった。

このような書き出しで始めると、これは「私」("I")が主人公の作品だと思うであろう。しかしこの『偉大なるギャツビー』はギャツビー(*Gatsby*)が主人公の小説で、「私」は脇役なのである。

『日は又昇る』の第1章と第2章を読んだ限りにおいては、読者はこの作品はロバート・コーンが主人公の作品と思うであろう。ところが実際にはこの作品は「私」、つまり「ジェイク・バーンズ」(*Jake Barnes*)についての話なのである。とするならヘミングウェイは何のためにこの作品の出だしの部分を、コーンがまるで主人公であるかのような語り方で始めたのだろうか。単なる偶然ではないであろう。ヘミングウェイの他の作品とも異なるこのような書き出し方が非常に気にかかる。ここには何か意図が込められているはずである。その意図とは何か、ここではそれを探ってみたいと思う。

第1章、第2章のコーンについての話を読んで、私達はどこに何を感じるだろうか。それはコーンがいかに「虚」に満ちた人生を送っているか、という印象である。このことはまず、先ほど引用した出だしの部分に暗示されている。彼は大学でボクシングをやっていたという。しかも大学のミドルウェイト級のチャンピオンだったという。しかし彼がボクシングをやっていたのは、ボクシング

が好きだったからという訳ではないらしい。いや、それどころかボクシングは嫌いだったという。ではなぜ、何のためにボクシングをやっていたのか。その動機は「ユダヤ人として扱われたことで感じていた劣等感と恥ずかしさを追い払おうとした」ためであるという。嫌いだけどやる、というのは動機が不純である。しかし、コーンの気持は分からないでもない。私達でも劣等感や恥ずかしさを克服するために何かをやる、というのはよくあることだから。そしてその結果として立派に仕事を成し遂げ、名を成すこともあるわけだから。それ故一概にコーンを責めるわけにはいかないだろう。しかしもし、やることなすこと全てが大して好きでもなく、自分の心に誠実でもない動機からだとしたら、話は別であろう。

結婚は人の生涯に大きなウェイトを占める重大事件である。だから結婚に対して主体的に関わることが大切だろう。ところがコーンの結婚は必ずしもそうではないらしい。というのは、コーンは「彼に対して優しくしてくれた最初の女と結婚した」("...was married by the first girl who was nice to him") (4) というから。これでは全く受け身的である。彼の主体性はいったいどこにあるのだろうか。主体性がないからその責任を全うできない。だからこそ、「金持ちの妻との家庭生活の不幸」("domestic unhappiness with a rich wife") (4) を導くのだし、やがては双方とも相手に対して愛想をつかし、別れてしまうのである。しかも妻に駆け落ちされるという屈辱感を味わわされて。でも自分が好きだった女との結婚ではなかったの、ショックを受けながらもせいせいした気分になっている。「彼女が去ったことはショックではあったが、とてもせいせいした」("her departure was a very healthful shock") (4)。

ボクシングを始めた動機といい、結婚といい、その姿勢は全くの「虚」であり、「実」に欠ける。コーンの「虚」の人生はさらに続く。彼はどうやら父親の遺産で生活し、文士を気取って生きていたらしいが、離婚後は美術評論誌に5万ドルもの大金を支援してその編集者になる。しかし、編集者になったのは、「編集するという権威が好きだった」("he liked the authority of editing") (5) からだという。編集という仕事が好きで編

集者になったのなら、その仕事には「実」があるが、編集することに伴う権威が好きだからというのでは、「虚」そのものであろう。

あるいは又、莫大な金を賭けたブリッジでたまたま勝ったりしたときには、自分のブリッジの腕を得意がり、「いざとなればブリッジで暮らしていけると何度も話すようになった」("he talked several times of how a man could always make a living at bridge if he were ever forced to") (9) という。このような考えは、人生のことがまだよく分かっていない10代の若者ならばまだしも、34歳の男の場合には許せない。さらに悪いことは、コーンは極めてロマンチックな空想の恋愛小説を読み、それを現実の世界のことと信じてしまっていることである。

He had been reading W. H. Hudson. That sounds like an innocent occupation, but Cohn had read and reread "The Purple Land". "The Purple Land" is a very sinister book if read too late in life. ... For a man to take it at thirty-four as a guide-book to what life holds is about as safe as it would be for a man of the same age to enter Wall Street direct from a French Convent, equipped with a complete set of the more practical Alger books. (9)

彼は W. H. ハドソンを読んでいた。こう言うと無邪気なことのよう聞こえるだろう。しかしコーンは『紫の国』を何度も何度も読んでいた。『紫の国』は年を取ってから読むと非常に悪い本である。……人が34歳になって、それを人生が持っているものに対する案内書とすることは、同じ年の男が、それよりも現実的なアルジャーの本が全部そろっているフランスの修道院から、まっすぐウォール街に飛び込んでいくようなものであろう。

どうやらコーンには現実と空想との区別が付かなくなっているらしい。もし本当に自分の足でこの世を歩いたことのある人だったら、こんな間違いを犯さないはずである。「実」の世界と「虚」の世界の区別がはっきり分らないとは、コーン

がいかに「虚」の世界に埋没しているかの証拠だろう。

ではいったい何のためにヘミングウェイはこの作品の序章とでも言うべきところで「虚」としてのコーンの姿をこのように執拗なまでに描いているのだろうか。ヘミングウェイの目的は一体何なのだろうか。

「その当時のヘミングウェイの実感としては、長篇を書くことは、まず1つ1つ得心のいく短篇を蓄積してゆき、しかるのちにはじめて可能となる次元の高い仕事だったに違いない。彼が短篇を、長篇を書く前提だと考えていたことは、その処女短篇集『われらの時代に』をはじめとする『女のいない男たち』『勝者には何もやるな』の3つの短篇集を中心とする短篇群が何よりも雄弁に語っているところである」¹⁰⁾と、嶋忠正は『ヘミングウェイの世界』の中で語る。とするなら、『われらの時代に』は、『日は又昇る』を書くための「前提」だったのではなからうか。というのは、『われらの時代に』は『日は又昇る』出版直前の1925年に出版されているので。つまり、『われらの時代に』と『日は又昇る』には切っても切れない深い関係がある、と言えるだろう。

ウィラ・キャザー (Willa Cather) が「40歳以下ではなく」(Not Under Forty, 1935) という評論の中で語る。

The world broke in two in 1922 or thereabouts, and the persons and prejudices recalled in these sketches slid back into yesterday's seven thousand years. Thomas Mann, to be sure, belongs immensely to the forward-goers, and they are concerned only with his forwardness. But he also goes back a long way, and his backwardness is more gratifying to the backward. It is for the backward, and by one of their number, that these sketches were written. ¹¹⁾

1922年かそこらに世界は2つに割れた。これらのスケッチの中で思い出されている人物や偏見は過去の7千年へと戻っていった。トーマス・マンは、確かに前向きに進む人に属する。彼らはひたすら前向きであるこ

とに心を配っている。しかし、トーマス・マンは遠い過去へ戻っていきもする。彼は前向きであるよりも後ろ向きであることの方により満足している。これらのスケッチは後ろ向きの人のためのものであり、後ろ向きの人たちのうちの1人によって書かれたものである。

1922年と言えば、第一次世界大戦が終結してまもなくのことである。戦争というのは人類にとって大事件であり、それはしばしば時代の流れを大きく変える。従って、キャザーの「1922年かそこらに世界は2つに割れた」という言葉にも説得力がある。おそらくアメリカの社会も1922年頃を境にして大きく変わったのであろう。

『われらの時代に』が1925年、『日は又昇る』が1926年の作品であることは先程述べた。それぞれが1925年、1926年であるということはこれらの作品には、キャザーの言葉を借りるなら、主として「前向きに進む人」が描かれているはずである。なぜなら両作品は終戦後まもなくの作品であるから。このことは、前出の嶋忠正の次のような言葉によっても裏づけられる。「(ヘミングウェイは) 第一次世界大戦によって、人々が生活の指針と意欲を失った、いわゆる『失われた世代』の混迷と激動の中にその青年時代を過ごし、戦中、戦後の精神的荒廃の中から、作家としてまた人間として生きる道を模索しなければならなかった」¹²⁾。作品の登場人物は、程度の差こそあれ、作家の姿を投影している。故に『われらの時代に』と『日は又昇る』には、第一次世界大戦後の「混迷と激動の」世界に生きる道を模索している人々、つまり、「前向きに進む人」が描かれていることは間違いない。しかし、このような人だけではないであろう。時代の境目には両方の要因、要素が混入しているものである。したがって、「後ろ向きな人」も描かれているはずである。それに又、「前向きに進む人」がいかなる存在であるかをはっきりとさせるためには、「後ろ向きの人」の存在は欠かすことができないであろうし、「後ろ向きの人」を描くことによって「前向きに進む人」がいかなる人であるかが浮き彫りにされるものであろうから。では、どのような人が「後ろ向きの人」なのだろうか。そして「前向きに進む人」とは。このことを『われらの時代に』の中に探ってみること

にする。

「医者とその妻」('The Doctor and the Doctor's Wife)の中にディック・ボウルトン(Dick Boulton)という男が登場する。彼はニックの父親ヘンリー(Henry)から、湖の岸辺に打ち上げられている流木を材木にする仕事を頼まれる。しかしディックは素直にはその仕事をしない。彼はヘンリーに向かって言う。「おや先生、いい材木をたくさん盗んだものですね」("Well, Doc, that's a nice lot of timber you've stolen") (26)¹³⁾。確かにディックが言っていることには一理ある。というのは、ヘンリーは船で製材所へと曳かれていく材木のうちで、止め金から外れて流木となったものを失敬しようとしているのだから。しかし、そのような流木は回収されることはなく、結局は岸辺に打ち上げられて朽ちてしまうのがおちであるという。とするなら、失敬してもかまわないだろう、というのがヘンリーの考えである。さらにディックはその流木を水で洗って、材木に押されている刻印を見ようとする。「誰のものか見たいのだ」("I want to see who it belongs to") (27)。ディックのこのような態度は明らかに挑発的である。早い話が、ヘンリーに喧嘩を売っている。何のためにこのように挑発的になっているのか。

ディックは混血の男である。白人の男がインディアンの女に生ませた男なのである。このことは、「ディック・ボウルトンはニックの父親のために材木を切りにインディアン部落からやってきた」("Dick Boulton came from the Indian camp to cut up logs for Nick's father") (25) という冒頭の描写にほのめかされている。しかも一見したところでは、白人と間違えられるという。「湖の回りの農夫たちの多くは、彼は本当は白人であると信じていた」("many of the farmers around the lake believed he was really a white man") (26)。とすると、ディックの白人に対する思いには相当屈折したものがあるのに違いない。言うなれば、劣等感みたいなものがあるはずである。その思いを、白人であるヘンリーにぶつけたのではないだろうか。このことはヘンリーを怒らせた「ディックは幸せだった」("He was happy") (28) という言葉に暗示されているように思う。しかしこのような劣等感決して生産的なものではないだろう。

なぜならディックはそのおかげで仕事を失ってしまっただろうから。

結局ディックの行動は「虚」以外の何ものでもない。しかしこの作品の主題は、ディック・ボウルトンの「虚」を描くことにあったわけではないことはすぐに分かる。では何のために。それはヘンリーとその妻の「虚」の夫婦関係を描くための前奏曲とするためにあったのである。

家に戻ったヘンリーに妻が声をかける。

"Aren't you going back to work, dear?" asked the doctor's wife from the room where she was lying with the blinds drawn.

"No!"

"Was anything the matter?"

"I had a row with Dick Boulton."

"Oh," said his wife. "I hope you didn't lose your temper, Henry."

"No," said the doctor.

"Remember, that he who ruleth his spirit is greater than he that taketh a city," said his wife. (29)

「仕事に戻らないのですか、あなた」、ブラインドを下ろして横になっていた部屋の中から医者の妻が言った。

「戻らん」

「何かあったんですか」

「ディック・ボウルトンと口論をしたんだ」

「まあ」、彼の妻が言った。「かっとしたわけではないでしょうね、ヘンリー」

「そんなことはない」、医者が言った。

「忘れないでね。自分の心を治める者は、町を治める者よりも立派なのよ」、彼の妻が言った。

ニックの父親の妻は病気なのだろうか。「横になっていた」という。しかしそうでないことは、この後もさらに矢継ぎ早にヘンリーに語りかけていることにほのめかされている。もし身体の具合が悪かったら、こんなに次々と言葉を連発できるはずがない。彼女が「横になっていた」というのは、彼女のあり方を象徴するためである。彼女はしきりに言う。「かっとしたわけではないでしょ

うね」「自分の心を治める者は町を治める者よりも立派なのよ」。しばらくすると更に、「ボウルトンに怒らせるようなことを言ったわけではないでしょうね」("You didn't say anything to Boulton to anger him, did you?") (29)。このような言葉は説教じみている。彼女が説教的なのは、クリスチャン・サイエンスの信者 ("Christian Scientist") (29) だからであろう。その言葉からは一見、彼女が人との関係、つまり人との深い結びつきといったことを大切にしているかのように思わせる。しかし、人との関係において顔も合わせずに話をする、とはどういうことなのだろうか。部屋のドアを開けることもなく、ベッドに横たわったまま話をするというのは尋常ではない。しかも部屋のブラインドを下ろしたままである。このようなことは他人との交わりを遮断していることの、また他人に対して心を閉ざしていることの証拠である。彼女のクリスチャン・サイエンスの信者としての実体は形骸化している。もし彼女がその言葉通りに誠心誠意、心を込めてヘンリーに向かい合っているのなら、ちゃんと立って対応しているはずである。ところが「横になって」対応しているというのは、そうではないからである。彼女の言葉は表面的なものであり、その実を伴っていない。その言葉から判断する限りにおいては、彼女は夫を大変気遣い、深い愛情を傾けているように思われる。しかし、嶋忠正も指摘しているように、この夫婦の関係はすっかり冷めてしまっている。このことは、各々が別々の部屋にそれぞれのベッドを持っているところに表われていると嶋忠正はいう。「his bed」というなんでもない文句が、この一節のすぐ前にある。……her bed の対比として考えるとき、すでに一つベッドで交渉をもつこともなくなった冷たい夫婦関係の機微に触れる重要な機能を果たしていることに気がつくのである」¹⁴⁾。

とするなら、この夫婦は表面だけを取り繕った生活を送っている。二人の生活には「実」がなく、「虚」に満ちている。そういえば、「インディアン・キャンプ」('Indian Camp') のニックの父親もひどく表面的で、形骸化したところがあった。医者である彼は、帝王切開で子供を出産させるのに麻酔薬も使わないし、妊婦が痛みのために泣き叫んでも、「でも彼女の泣き声なんて大したこと

ないさ。私には聞こえないね。だって、そんなもの大したことないから」("But her screams are not important. I don't hear them because they are not important") (17) などと冷たいところがある。医者であるなら、もっと患者のことを思いやってもいいではなかろうか。かくて、ニックの両親の生活からは「実」が欠けているように思われる。

その点、この両方の作品に登場しているニックには「実」があるように思われる。少なくとも偽りの生活を送ってはいない。その心に忠実に生きているし、ごまかし、つまり「虚」がない。「インディアン・キャンプ」のニックは、父親に連れられてインディアン部落に行く。彼がそこで目にしたのは、人間の生と死というすさまじい情景である。このようなショッキングな場面に遭遇したら、普通の子供であれば動転し、正気であることが難しくなるであろう。しかしニックは違う。意識を混乱させることもなく、健気に決心する。「自分は決して死んだりしない」と。

Nick trailed his hand in the water. It felt warm in the sharp chill of the morning. In the early morning on the lake sitting in the stern of the boat with his father rowing, he felt quite sure that he would never die. (21)

ニックは水の中に手を漂わせた。水は朝の鋭い冷たさの中で温かく感じられた。早朝の湖で、父が漕ぐボートの船尾に座り、彼は、自分は決して死んだりもしない、としっかりと確信した。

ニックは人間の生と死というすさまじい場面に立ち会ったことの衝撃に打ちのめされてはいない。いやそれどころか、それをバネとして更に逞しく成長しようとしている。その姿勢はしっかりと未来に向けられている。「医者とその妻」のニックも同じである。父親の「お母さんが来るように言っていたよ」("Your mother wants you to come and see her") (31) という言葉に、「お父さんと一緒に行きたいな。…黒リスがいるところ、知っているよ」("I want to go with you. …I know where there's black squirrels, Daddy") と言う。お母さんのところへ行くということは、彼

女一人が閉じ込もっているあの閉鎖的な世界を選ぶということを示唆している。父親と一緒に行く、ということは、少なくともこの場合は未知の世界、未来の世界へ行く、ということをほのめかしている。なぜなら父親がこれからしようとしていることは獵であるから。獵は冒険の世界であり、冒険は未来の世界に属するから。

このように考えてみると、ニックの父親や彼の妻は「後ろ向きの人」であり、ニックは「前向きに進む人」であるように思われる。このことについては更に他の作品を取り上げて考えてみる。

ニックが「前向きに進む人」であることは、「三日のあらし」('The Three Day Blow')で更に明らかになる。青年期に達したニックはある女と退っ引きならぬ関係に陥ったらしい。もし彼が「後ろ向きの人」であつたら、その女と結婚しなければならぬことになっていただろう。ニックはそのマージョリ (Marjorie) という女と陥っていたであろう関係について思いを馳せる。

That was true. His original plan had been to go down home and get a job. Then he had planned to stay in Charlevoix all winter so he could be near Marge. Now he did not know what he was going to do. (57)

それは本当だった。彼の最初の計画は、家に帰って仕事を手にするつもりだった。それからマージのそばにすることができるよう、冬中シャルルヴォワに滞在する計画を立てていた。今は、これから何をすることも分からなかった。

ニックの育った環境は、男女間のふしだらな関係を許すようないい加減なものでなかったであろうことは十分に察しがつく。このことは「医者とその妻」で紹介されていたように、ニックの母親が敬虔なクリスチャン・サイエンスの信者だったこと、父親の方も今までに酒など飲んだことがないくらい謹厳実直な人だったらしいことにうかがえる。「僕の親父は今までに酒を飲んだことがないと言っているんだ」("He claims he's never taken a drink in his life") (52)。そして、その社会はと言えば、「兵士の家」('Soldier's Home')の

中で母親が語っているように、その根底にピューリタンに端を発する「お上品な伝統」を引くものであつたらしいから。

ニック（この作品ではクレブス (Krebs) という名前になっている）の母親が言う。

Charley Simmons, who is just your age, has a good job and is going to be married. The boys are all settling down; they're all determined to get somewhere; you can see that boys like Charley Simmons are on their way to being really a credit to the community. (99)

あなたと同じ年のチャーリー・シモンズはちゃんとした仕事を持って、結婚しようとしているわ。男の子はみんな身を固めているし、みんな決心して何とかしようとしている。チャーリー・シモンズのような男の子はみんな本当に社会の信用を得ようとしているのよ。

このような「お上品な伝統」が残る社会に於ては、「ちゃんとした仕事を持ち」、「身を固め」、「社会の信用を得る」人になることが大切である。従って、結婚もこのような人になることの一条件とならなければならないはずである。つまり誇張するなら、結婚は共同社会の立派な一員になるための一手段なのである。

1922年以前の「後ろ向きの人」には、恐らくこのような思いが強かつたであろう。もしニックが「後ろ向きの人」に属していたら、マージョリと結婚していただろう。しかしニックは、自分自身の何かを大切にするために、マージョリとの結婚を本能的に避ける。その理由は明確にされていないが、ニックは、マージョリと結婚することは「虚」の人生を導くことになる直感的に感じている。そして傷心の思いで彼女と別れる。「何もかもが去ってしまった。彼が意識していたことは、かつてはマージョリが自分のものであつたということ、そして今は失ってしまったということ」、("It was all gone. All he knew was that he had once had Marjorie and that he had lost her") (57)。このようなニックは「前向きに進む人」であろう。

「後ろ向きの人」の最も大きな特徴は、彼らには一つのはっきりとした価値観があったことであろう。最も明確な一つの価値観、それは神の存在である。そして「兵士の家」のクレブスの家庭こそまさに「後ろ向きの人」の典型、まさにアメリカの「お上品な伝統」を引き継いでいる家庭であろう。このことは後に典型的な「前向きに進む人」になってしまうクレブスでさえ、宗教色の濃い「メソヂスト派の大学」("Methodist college") (89) に入学した、といったことから分かる。この傾向はその母親に顕著である。

"God has some work for everyone to do," his mother said. "There can be no idle hands in His Kingdom." "I'm not in His Kingdom," Krebs said. "We are all of us in His Kingdom." Krebs felt embarrassed and resentful as always. (98)

「神様は一人一人にするべき仕事を与えているのよ」、彼の母が言った。「神様の王国には怠け者は一人もいないことになっているの」。「僕は神様の王国にはいません」、クレブスが言った。「私達はみんな神様の王国にいるのです」。クレブスはいつものように困惑し、憤慨した。

このような「後ろ向きの人」が営む家庭に育ったものの、クレブスが戦争で体験したことは痛烈で、彼が出征する前に受けた全ての教育を破壊した。戦争は神の存在を否定した。戦場でクレブスはそれを知った。神の不在を知ったクレブスにとって、それに執着する人々の生活は「虚」である。だからこそ執拗に「後ろ向きの人」の考えを押しつけてくる母親にクレブスは、「気分が悪くなり、微かに吐き気を催してしまう」("felt sick and vaguely nauseated") (100)。「後ろ向きの人」に対して気分が悪くなり吐き気がするクレブスは、もはやその世界では生きられない。前に進むしかない。

「後ろ向きの人」には明確な一つの価値観があった、ということについてはさきほど触れたが、「兵士の家」の次の作品「エリオット夫妻」('Mr. And Mrs. Elliot') では、このような価値観が極め

て滑稽なものとして徹底的に揶揄され、笑いのものにされている。

アメリカの「お上品な伝統」の中心にあるのは、キリスト教の神である。そしてその神の経典が『聖書』である。その『聖書』が語る。「汝、姦淫するなかれ」と。『エリオット夫妻』の主人公ヒューバート・エリオット (Hubert Elliot) と妻のコーニーリア (Cornelia) は、この神の教えを忠実に守る。「汝、姦淫するなかれ」というのは何も結婚後の性の乱れだけを戒めた戒律ではないだろう。結婚前の性の乱れをも強く戒めたものであろう。二人ともこの戒律に忠実で、ヒューバートもコーニーリアも結婚するまでは純潔を守っていた、という。しかし二人の結婚はあまりにもそのことに捉われてしまっていたが故に、何かグロテスクなものさえ感じられる。なぜなら、ヒューバートはそのことを金科玉条としていたので、自分に対してばかりでなく、女性達に対してもそのことを求めていたので。従って、好きな女性ができても、すぐに逃げられてしまったらしい。「彼は……遅かれ早かれいつも女性達に向かって、自分はきれいな生活を送ってきたと語った。ほとんど全ての女性達は彼に興味を失ってしまった」

("He...always told them sooner or later that he had led a clean life. Nearly all the girls lost interest in him") (110)。確かに神の教えを守るのは大切なことかも知れない。しかし、そのことだけに捉われてしまうのが本当に正しいことなのかどうか。結局ヒューバートは自分よりも15歳年上の40歳のコーニーリアと結婚することになるのだが、それは彼女が40年間純潔を守ってきたからである。果たして彼が彼女を本当に愛していたかどうかは分からない。彼ら二人が本当に愛していたのは「純潔」という概念であり、肉体を持つお互いの個体ではなかったように思う。なぜなら、二人が精神的にも肉体的にも完全に結ばれることは決してなく、やがて二人がベッドを共にすることはなくなってしまったというから。

Elliot had taken to drinking white wine and lived apart in his own room. He wrote a great deal of poetry during the night and in the morning looked very exhausted. Mrs. Elliot and the girl friend now slept together in

the big mediaeval bed. (114)

エリオットは白ワインを飲む習慣を身に付けていた。そして自分自身の部屋で離れて暮らしていた。彼は夜中にたくさんの詩を書き、朝は非常に疲れているように見えた。エリオット夫人は、今では彼女の女友達と大きな中世風のベッドに寝るようになっていた。

エリオット夫妻の結婚生活が「虚」の生活であることは間違いないであろう。二人の間には精神的なつながりも、愛情の交流もない。ただ形式的に一つの屋根の下で暮らしているにすぎない。これが、二人が神の教えを忠実に守ってきたことの結果である。純潔などどうでもいい、と主張したいわけではない。しかし、人と人との結びつきには、その前にもっと大切なことがあるように思う。

『われらの時代に』の最後を飾る作品は、「大きな2つの心臓の川」('Big Two-Hearted River')である。これは大変な名作であると言われている。なぜそうなのか、は私には分からない。しかしこの作品は、この短篇集の中のどの作品とも異なり、ひととき異彩を放っている。他の作品にはどれにも「後ろ向きの人」と「前向きに進む人」が登場するが、この作品は違うのである。「前向きに進む人」しか登場しない。

主人公のニックが、昔訪れたことのあるシニーという町に釣りにやってくる。釣りは本格的なもので、釣り道具のほかには寝袋、料理道具などあらゆるものを携えている。彼はそれらを背負いひたすら前進している。そこには後ろを振り返っている様子は全くない。

The road climbed steadily. It was hard work walking up-hill. His muscles ached and the day was hot, but Nick felt happy. He felt he had everything behind, the need for thinking behind, the need to write, other needs. It was all back of him. (179)

道は確実に上っていた。坂を上っていくのは辛かった。筋肉は痛み、日は暑かった。でもニックは幸せだった。彼は全てのものを後に置いてきたという感じがした。考える必要、

書く必要、その他の必要全てを。全てが彼の後ろにあった。

いや、このように言うのは正しくない。時々後ろを振り返っていることもある。しかしそれは、引き摺っているものとしての過去ではなく、前進することに勢いを与え、励みを与えるものとしての過去である。川の流れて元気に泳ぐマスを見てニックは思う。「マスが動くとニックの心は緊張した。彼は昔の興奮をすべて思い出した」

("Nick's heart tightened as the trout moved. He felt all the old feeling") (178)。あるいはコーヒーを沸かすときになると、友達のホプキンスのことを思い出す。ホプキンスはコーヒーにかけてはうるさい人間で、コーヒーの入れ方にも持論があった。しかしホプキンスに関する思い出は彼の心を愉快にし、マス釣りの旅に花を添える。

又、昔のマス釣りでのある事件を思い出す。

He had wet his hand before he touched the trout, so he would not disturb the delicate mucus that covered him. If a trout was touched with a dry hand, a white fungus attached the unprotected spot. Years before when he had fished crowded streams, with fly fishermen ahead of him and behind him, Nick had again and again come on dead trout, furry with white fungus, drifted against a rock, or floating belly up in some pool. Nick did not like to fish with other men on the river. Unless they were of your party, they spoiled it. (pp. 201-202)

彼はマスの身体を被っているデリケートな粘液を冒さないように、マスに触れる前に手を濡らした。乾いた手で触れると白いカビが、守られていない個所に付いてしまう。数年前に人々で混み合った川で釣りをしたことがあった。彼の前にも後にも、毛針を持った釣り人がいた。ニックは何度も何度も死んだマスに出会った。それらのマスは白いカビで被われ、岩にぶつかって流れた。もしくは水が淀んだ所で腹を上にして浮いていた。ニックは他の人と一緒に釣りをしたくはなかった。

釣り人が仲間でない、釣りを台無しにしてしまう。

ニックがこのようなことを思い出しているのは、彼がいかにこの釣りの旅を大事にしようとしているかの証拠である。ニックは今回のこの釣りを非常に大事にしている。細心の注意を込めて釣りをしている。その姿は異常である。単に釣りを楽しむというのではなく、意識的に充実したものにしなければならないといった感さえある。その動作の一つ一つが前を目指し、一步一步確実に前進している。ここにいるのはただひたすら前に進む人、ニックだけである。この短篇集のどれにも登場していた「後ろ向きの人」の姿はチラリとも見えない。そして「前向きに進む人」ニックの姿には、「虚」の影は全くない。その姿は「実」そのものである。

そろそろ結論を出すときが来たようだ。『日は又昇る』の出だしの第1章、第2章には、「虚」の人生を送るコーンの生活ぶりが主に描かれている。彼は学生時代に、好きでもないボクシングをする。その動機は、ユダヤ人であるという劣等感を克服するためである。あるいは結婚にしても、「彼に優しくしてくれた最初の女と結婚」する。彼女が好きだったというわけでもない。この結婚にコーンの主体性はない。だから、二人の間に危機が訪れると、子供がいるにもかかわらず、簡単に別れる。あるいは、少年少女向けの空想物語に描かれている世界を信じ、その世界を追求しようとさえする。コーンのような人生には「虚」の色彩が濃い。しかし、だからといってコーンを全面的に否定できるわけでもない。なぜなら私達にもこのような要素があるので。人間の生の営みは決して「実」の生活だけで成り立っているわけではない。「虚」の部分も混在している。ただ、時と場所によってはそういったものが許されないこともある。例えば、第一次世界大戦直後の世界では許されなかったであろう。嶋忠正の言葉を借りるなら、「第一次世界大戦によって、人々が生活の指針と意欲を失った、いわゆる『失われた世代』の混迷と激動の中にその青年時代を過ごし、戦中戦後の精神的荒廃」の中に生きなければならなかった訳であるから。とにかくこの時代には「実」の生活を求めなければならなかった。それ

故「前向きに進む人」が不可欠であっただろう。

1925年の『われらの時代に』は、言ってみれば、1926年の『日は又昇る』の序章である。『われらの時代に』には、コーンのような「後ろ向きの人」が数多く登場している。「前向きに進む人」は多くはない。ニックだけであると言っても過言ではない。『日は又昇る』は逆である。「後ろ向きの人」はそれほど多くはない。「前向きに進む人」が圧倒的に多い。とするなら、『われらの時代に』の典型的な「前向きに進む人」ニックから、『日は又昇る』の典型的な「前向きに進む人」ジェイクへの橋渡しをするためには、どうしても『われらの時代に』の「後ろ向きの人」の典型であるコーンをまず最初に紹介しておく必要があったのだらう。

《註》

- 1) Ernest Hemingway; *A Farewell to Arms* (New York, Charles Scribner's Sons, 1958) P. 1
- 2) Ernest Hemingway; *Death in the Afternoon* (New York, Charles Scribner's Sons, 1960) P. 1
- 3) Ernest Hemingway; *Green Hills of Africa* (New York, Charles Scribner's Sons, 1963) P. 2
- 4) Ernest Hemingway; *To Have and Have Not* (New York, Charles Scribner's Sons, 1965) P. 3
- 5) Ernest Hemingway; *For Whom the Bell Tolls* (New York, Charles Scribner's Sons, 1968) P. 1
- 6) Ernest Hemingway; *Across the River and into the Trees* (New York, Charles Scribner's Sons, 1970) P. 1
- 7) Ernest Hemingway; *The Old Man and the Sea* (London, Jonathan Cape, 1973) P. 5
- 8) Ernest Hemingway; *The Sun Also Rises* (New York, Charles Scribner's Sons, 1954) P. 3 なお、これ以後のこのテキストからの引用は、全てこのように括弧を設け、その中にページ数を記す。
- 9) F. Scott Fitzgerald; *The Great Gatsby* (New York, Penguin Books, 1985) P. 7
- 10) 嶋 忠正; ヘミングウェイの世界 (東京、北星堂、1975) P. 7
- 11) Will Cather; *Not under Forty* (New York, Alfred a Knopf, 1967) P. 3
- 12) 嶋 忠正; ヘミングウェイの世界、P. 21
- 13) Ernest Hemingway; *In Our Time* (New York, Charles Scribner's Sons, 1958) P. 26
なお、これ以後のこのテキストからの引用は、全てこのように括弧を設け、その中にページ数を記す。
- 14) 嶋 忠正; ヘミングウェイの世界、P. 112

(平成16年5月6日 受理)

技術事故の歴史的分類作業の試み

—技術者倫理教育を展望して—

河 村 豊*

An Attempt at the Grouping Studies of Technology Related Accidents Historically —With the Prospects for Education of Engineering Ethics—

Yutaka KAWAMURA

It have been used many case samples of technology related accidents at the place of the Education of engineering Ethics. But there are no full considerations about these samples. For example, there are two typical arguments about the causality of technology related accidents. One is the argument about the accidents resulted from the organization character, the other is the arguments about the accidents resulted from the technical system complexity. In this paper, I compared with these arguments and pointed out the purpose of the historical grouping studies of technology related accidents.

(Keywords: Education of engineering ethics, History of technology related accidents)

1. 技術事故論に関わる

「ディレンマ問題」と「配慮問題」

1986 年と 2003 年に起こった 2 度のスペースシャトル事故は、技術事故論を検討する上で興味深い問題を提起している。本稿で取り上げる「技術事故の歴史的分類」を試みる目的を、この事例の検討から説明してみたい。

前者は、1986 年 1 月 28 日に起きたスペースシャトル「チャレンジャー号」爆発事故である。この事故は、同じ年に発生したチェルノブイリ原子力発電所事故（同年 4 月 26 日）、および前年に発生した日航ジャンボ機墜落事故（1985 年 8 月 12 日）の 2 件の技術事故と合わせて、事故発生を分析する当時の一連の議論の中に、「巨大事故論」という議論を登場させるきっかけとなった¹⁾。一方後者は、2003 年 2 月 1 日に発生したスペースシャトル「コロンビア号」空中分解事故である。この事故は、数年前に引き起こされた、核燃料加工会社 JCO における臨界事故（1999 年 9 月 30 日）や、東京電力の原発トラブル隠し（2002 年に事実確認後、2003 年春に東京電力の原発 17 基すべてが停止）、三菱自動車による事故原因における虚偽報告（2004 年 5 月 6 日ふそう前社長を逮捕）などの事件と合わせて、「組織事故論」と呼べる議

論を登場させてきた。

つまり、一見同じような原因によると考えられる 2 つのスペースシャトル事故であるが、実際はその時々で、大きく異なる技術事故論を生みだしてきたことになる。こうした違いを生み出す背景には、技術事故はその時代の社会問題の 1 つであるという実態が存在する。つまり、技術事故の原因は一見すると「1 つの真実」の探求が可能なのであるが、実はそのような真実は、社会的関心によって大きく左右される場合があるという問題である。事故の原因が事故の責任として直結する場合には、なおさら社会的関心に左右される可能性が高くなる。このような事故論に関わる社会性の存在を、上記のスペースシャトル事故は象徴的に示していることになる。

こうした事故論に関わる問題は、本稿がその帰結としてめざしている技術者倫理教育の展望に対しても大きな課題を投げかけている。なぜなら、近年刊行されている多くの技術者倫理教育に関わる教科書、資料集類では、過去の技術事故をその検討素材として取り上げているからである。チャレンジャー事故や JCO の臨界事故などは多くの教材で取り上げられている典型的事例であるといえる²⁾。ただし、技術事故は、

実際においては複合的な原因から引き起こされている場合が多く、教材として取り扱う際には、当面の教育主題に引きつけて利用する事になる。つまり、意識的に都合の良い事例を過去に起きた技術事故から選択して利用していることになる。このような選択それ自体に主要な問題があるわけではない。しかし、現実の技術事故を教材として利用する際には、技術事故の多様な事故分析論が存在することを前提に、慎重な検討が求められるべきである。このように議論する理由は、技術事故におけるエンジニアの倫理問題に関して、次の2点を区別して議論すべきであると著者が考えているからである。「組織事故」の場合は、上司の判断に従えば事故発生の可能性が高いとエンジニアが認識しながらも、上司の判断に従わざるをえない場合に生ずる「ギャップ」をエンジニア自身に解決させようとする問題である。つまり危険に気づき、それを上司に伝達した時点で発生する問題といえる。これをここでは「ディレンマ問題」(dilemma problems: 二者択一の板挟みに陥る問題)と呼んでおく。一方「巨大事故」の場合は、僅かなトラブルがシステム全体を崩壊させるような大規模システムに関わる技術者に適切な対応を求める問題であって、従来とは異なる安全対策が不可欠である。このことから、まずエンジニアがあらゆる危険性を認識しようとする努力が求められる。これをここでは「配慮問題」(consideration problems: 当該技術に関する負の問題について無視せずに注意を傾ける問題)と呼んでおく。技術者倫理において技術事故から学ぶべき課題は、上記のディレンマ問題と配慮問題の2つがあり、本稿の第1の目的は、近年の技術事故論に関わる倫理問題がディレンマ問題に還元されている傾向にあることを示し、それを修正する提案をすることにある。

また、技術事故分析は、注目される問題点が政治的問題や経済的な問題などの事故をとりまく社会情勢に応じて、大きく変化している。こうした理解にたてば、技術事故を素材として扱う場合に際しては、技術事故の歴史を視野に入れること、さらに事故発生に現れる特徴の時代的变化や事故原因論についての歴史的变化に注目することが不可欠である。本稿の第2の目的

は、技術事故を歴史的に捉え、ある基準に基づきながら分類を試みることである³⁾。

なお、「技術事故」(Technology Related Accidents)という用語は、事故一般ではなく、機械、装置等の人工物を用いたことに起因する事故を他の事故と区別する程度に用いている。狭義には人工物の設計や運用が主たる原因となる事故を指すものとして、この用語を利用する。

2. 近年の技術事故論—組織事故論について

(1) タイヤ脱落事故の原因をめぐって

2004 年春の時点でわが国で最も関心を持たれている技術事故を指摘するなら、三菱自動車工業製トラックのハブ破断によるタイヤ脱落事故であろう。この事件を通して、まず、組織事故論について検討してみたい。

2002 年 1 月横浜市瀬谷区で走行中の三菱自動車工業(2003 年 1 月に分社して現在は三菱ふそうトラック・バス)製大型車の左前輪のタイヤが脱落し、歩行中の母子3人が死傷した。この事故で亡くなった主婦(岡本紫穂さん、当時 29 才)の夫は、妻の墓石に次のような追悼文を刻んだという。「誰よりも何よりも大切な人... ありがとう、おつかれさま。ずっとずっと大好きでいようね。そして今を生きよう。今を大切に。」

この事故は、しかし、日本だけで年間1万人弱の死者を出している交通事故に関わる悲劇の1つであると括れない、深刻な問題を含んでいた。新たに社会問題として注目されたゆえんである。問題となった大型車のハブ(車輪と車軸をつなぐ部品)は、他社の新型車投入の攻勢を受け、三菱自動車工業(当時: 以下同じ)が試作途中であった部品を、いわば見切り生産に移したことが背景にあることが、事故2年後になって明らかにされた。「競争力の低下を恐れた三菱が低コストのマイナーチェンジを急場でした」という⁴⁾。こうした「安全軽視の体質」が事故の背後にあったと、捜査当局は見ているという⁴⁾。さらに、この事故は、三菱自動車工業が、組織的にまた継続的にクレームを隠し続け、また外部に対しては、虚偽の報告を行っていたという疑いも問題にされ、それが事故を誘発したとの議論も出てきた。たとえば、この事

故の2年以上前までに、すでにトラックなどの15件のハブ破損を同社は確認していたが、同社の対策会議では、運輸省（当時）への報告について1999年6月に広島県浜田自動車道で起きたバス事故の「1つで行こう」と意思統一していたこと⁵⁾、また、母子事故後に社内に設置されたワーキンググループ（調査班）で、タイヤと車軸をつなぐハブの強度不足などに欠陥があると分かったにもかかわらず、その調査結果を隠すように当時の常務が指示していた、と報道された⁶⁾。さらに2004年5月6日には道路運送車両法違反（虚偽報告）容疑で三菱ふそうトラック・バスの前会長ら7人が逮捕された⁷⁾。「事故の責任をユーザに転嫁するために虚偽報告し、死傷事故後も事故を続発させて国民の命に危険を及ぼした悪質な事案」として横浜地検が公判請求した⁸⁾。つまり、企業トップが関与する組織ぐるみの事件と認識されたことになる。三菱自動車工業の事件は、「組織事故」の一例となった。

（2）組織事故論の登場

「組織事故」という用語がいつから用いられるようになったかは正確には分からない。日本では1997年頃からまず事故原因の背景に「組織の体質」の問題があることが指摘され始めている。

たとえば、宇宙開発事業団地球観測センター（当時）勤務の山崎孝は、「事故を招いた動燃の三つの体質」という論説の中で動燃を事例にして、組織の体質が事故につながった要因と指摘した⁹⁾。問題としている事故は1995年12月の福井県敦賀市にある高速増殖原型炉「もんじゅ」で起きたナトリウム火災事故、さらに1997年3月11日に茨城県東海村の東海再処理工場で発生した火災・爆発事故である。これらの事故発生の要因として、動力炉・核燃料開発事業団（当時）の組織体質を上げている。「三つの体質」を要約すると、①事故の反省や総括が不十分、②動燃労使の癒着構造、③出向人事、業務委託による「寄せ集め所帯」の弊害、である。事故原因として各種の技術問題を論ずる前に、こうした組織体質の改善が重要であるとの指摘は、その後の組織事故論につながる共通部分がある。また同様な指摘が、毎日新聞科学環

境部記者の大島秀利の論考「動燃事故は何を問うているのか—もんじゅが提起した問題は無視された—」のなかで指摘されている¹⁰⁾。動燃について、出向者中心の「動燃団体制」という組織であると論じている。

「組織事故」という議論が登場し始めたのは1999年頃からである。たとえば、北九州大学の山内隆久（社会心理学）は朝日新聞に「組織事故防止に心理学活用を」と題する論説を載せ、1999年を「組織事故の年」とすることを提案している¹¹⁾。事故事例としては、同年1月の横浜市立大学病院での患者取り違い事故、2月に都立広尾病院での患者への誤注射、7月杏林大学病院での頭部に刺さった割り箸を見落とした事件、JR山陽新幹線のトンネルでのコンクリート落下事件、そして東海村での臨界事故を取り上げている。医療事故も組織事故として論じている点がまず新しい。さらに山内は、組織事故を「原因や影響が組織全体わたる」もので、ルール違反、裏マニュアル、手抜き工事が組織的に行われたことなどを指摘することで、特徴づけている。その背後には効率最優先の課題が存在することを指摘した上で、事故への対応の仕方を指標として、当該組織を3つに区分している。すなわち、(1)危険に目をつぶり事故を隠す「病的組織」、(2)事故発生後もその場限りの手当ですます「場当たりの組織」、(3)次の事故を防ぐ契機とし抜本的改善策を講じる「生産的組織」、の3つである¹²⁾。組織事故の発生を食い止めるための対策に議論を進めようとの立場を示した点でも新しい指摘であるといえる。

組織事故を表題とした著書も1999年に刊行された。イギリスマンチェスター大学のジェームズ・リーズンによる『組織事故 起こるべくして起こる事故からの脱出』である（原著は1997年刊行）¹³⁾。本書によれば、1979年のスリーマイル島原発事故以降、ヒューマンエラーについてクローズアップされるようになったが、近年（おそらく1990年代のことを指す）では、従来までの「個人」ではなく、「小集団（チーム）」さらに「組織」へとその対象が拡大してきたという。つまりヒューマンエラーに着目してきた事故原因論が、近年では組織上の

問題として議論されるようになってきたという説明である。なお、本書での「組織事故」の説明には、「その影響が組織全体に及ぶ事故」とあるが、分析の対象には事故の原因まで含まれている。

（3）組織事故論の定着

その後、技術事故に対して組織運営を問題として扱うようになった論点に、「トラブル隠し」がある。東京電力の原発トラブル隠しが典型例であろう。原子炉で見つかったひび割れが映らないようにビデオ編集を指示。アメリカ企業から派遣されていた技術者（ケイ・スガオカ）はそれを拒否。退社した後、2000 年 6 月に通産省（当時）に内部告発文を発送。2002 年に事実確認され、2003 年春に東電原発 17 基すべてが停止した事件である。

一方、世界的に注目を浴びた技術事故は、2003 年 2 月に発生したスペースシャトル・コロンビア号空中分解事故であった。事故から半年後の 8 月 26 日に、独立事故調査委員会（委員長：ハロルド・ゲーマン退役提督）はシャトル事故最終報告書を発表し、その中で、物理的原因としては外部燃料タンクからはがれた断熱材が左翼全部に直撃したと特定した上で、同程度に重要な原因として「組織上の原因」を取り上げ、NASA（アメリカ航空宇宙局）の安全軽視の姿勢を指摘した¹⁴⁾。具体的には NASA の「沈黙の安全」と名付けられる独特の「風土」を論じている。つまり飛行管理者が技術者の上に立つようなある種の階級制が存在し、技術者は不安を口にしがらく、結果として「安全」であるとの結論だけが伝わるというものである。1986 年のチャレンジャー号爆発事故を調査した大統領委員会も同様の問題を指摘していた点で、悪しき「風土」は 20 年たっても消えていなかったことになる¹⁵⁾。こうした報告書発表を受けて、たとえば朝日新聞の社説では、「巨大組織の病根」と題してこの問題を取り上げている¹⁶⁾。技術事故に対する組織事故という議論は 2003 年頃までにはしっかりと定着したといえよう。

こうした組織事故と呼ばれる技術事故が発生した現場を事例にした場合、その組織に所属するエンジニアには難しい対応が要求される。上

司は違法あるいは違法に近い手段を実行しようとしている時に、部下のエンジニアがどのような対応を取るべきか。エンジニアはディレンマ問題を抱える可能性が高い。ただし、ここで扱いたい議論は、発生する技術事故に対して、エンジニアに関わる倫理問題はディレンマ問題に還元することができるのか、という論点である。

3. 組織事故論を越えるために

（1）配慮問題

事故の要因には技術上の問題に加え、当該組織の安全に対する対応が大きく存在しているという考えは、そのこと自体、安全性確保のためには不可欠な分析である。しかし、技術事故の原因を、そのような組織のあり方に還元できるのかという問題が残る。確かに、三菱自動車工業のトラブル隠し問題では、社内のエンジニアによる調査から、原因を基本的に明らかにできたにもかかわらず、それが、会社管理者によって握りつぶされたという事例は、事故要因がまさに組織自体に存在することを示している。三菱自動車欠陥ハブ問題でも、早い段階でハブに設計ミスがあることを認識していたが、そのための対策を行わなかった。同様の事例としては、水俣病でも、チッソ工場のエンジニアが病気の原因物質を会社が流す廃液に含まれていることを認識していたが、会社の担当者はそうした議論を握りつぶしていたことが知られている。この点において、企業トップの判断の甘さ、監督官庁による調査能力の限界などが指摘でき、企業倫理や監督官庁の責任論に議論を向ける必要もある。ただし、エンジニアの立場から考えると、例えば、三菱自動車のタイヤ脱落事故の場合では、試作途上であった部品が製品化される際に、現場のエンジニアが危険性をどの程度認識していたかという問題が残る。この事例を取り上げたのは、エンジニアの責任を追及する意図ではなく、危険性を認識できる能力があったかという実態を問題としたいからである。つまり、実際に事故が起きる前に危険性を認識していたのに上司が取り上げなかったのか（これはディレンマ問題）、あるいは事故が起きるまで危険性を認識していなかったのか（これは配慮問題）、という 2 つの問題の区別をし

たいからである。

水俣病の場合、社内の医師やエンジニアは会社が出す廃液が原因物質となっているであろうことを認識していた。たとえ当初は実証できる段階ではないものの、被害の実態を重く見て、その解決に配慮し、原因が自分の会社にあるのではないかと調査を行った。エンジニアの側に、事故あるいは災害を食い止めようとする配慮が存在していたことになる¹⁷⁾。こうした配慮の存在の意義については、技術者倫理教育の中で問うべき大きな問題であると考ええる。

(2) 巨大事故論から見えること

技術事故の原因を企業などの経営組織側から議論しようとするのが組織事故論であるとすれば、その対局にあるものが巨大事故論であるといえる。巨大事故論では、事故の原因を技術の側から議論し、特に複雑な技術システムに通常の事故防止策では対応が困難であるとする議論である¹⁸⁾。例えば、桜井淳によれば、20 世紀後半の技術の特徴として、①システムが巨大化したこと、②使用条件が極端に極限化したこと、③コンピュータ依存技術が頻繁となったことを指摘し、「システムにわずかな針の穴ほどの些細なトラブルが生じて、巨大なシステムを一気に崩壊させるだけの脆さも内包している」と議論している¹⁹⁾。高木仁三郎の論点は、主として原発事故を念頭に置きながら、現代事故の特徴として、①現代事故、②古典的、③機械と人間のミス、④予告あり、⑤原因未解明、⑥運転者の事故対策なし、⑦住民の無知、⑧軍事技術、⑨目に見えない被害、⑩後始末できない、という 10 個のキーワードを示しながら、「現代システムの先端性、その大きさ、強さ、速さ、効率といった特徴こそが、巨大事故を起こしやすくしている」と説明し²⁰⁾、「事故は工学システムにつきものであり、その営みの一部といえるべきものだ」と著者は考えている」と解釈している²¹⁾。巨大事故論は事故不可避論のような解釈を生む可能性があるが、かならずしもそのような結論には至らない。例えば桜井は、「問題は十分に注意して回避できるほど単純な原因ではな」く、「従来の {安全解析の} 方法論に依存する限り、……大事故は回避できない」が、「純粋な技術論レベルの分析によって、もっと

も現実的な安全対策を実施させることが可能である」とその事故防止策を展望しているからである²²⁾。{} は引用者による追加。

こうした巨大事故論は近年ではあまり主張されていない。桜井淳の著書『事故は語る 人為ミス論 巨大システムを事故に陥れる社会メカニズムを検証する』では、著書のタイトルに巨大システムという表現を使っているものの、論点は人為ミスとそれを排除できない社会的要因を分析することの特徴としている²³⁾。また、2003 年に刊行された D&M 日経メカニカルが編集した『事故は語る 1998-2003 巨大化するトラブルの裏側』では、「巨大化する」との意味を、技術システムではなく、事故が大惨事につながっていること、あるいはあらゆる場面で技術に関わる事故が発生するようになっていることなどの程度に用いている²⁴⁾。

こうした巨大事故論の存在は、その議論の正当性を検討する必要があるが、現代の技術事故が従来までの事故に比べ様変わりしつつあることを表現したことに、その意味を見いだすことができる。

4. 技術事故の歴史的分類の試み

(1) 技術事故の歴史

著者はすでに「技術事故の歴史」についての予備的検討を試みたが、その概要を繰り返せば以下のようなになる²⁵⁾。技術事故の起源は、18 世紀の産業革命期に登場したイギリスの機械工場で発生した圧延機事故に求められる。またその後、技術事故はその範囲を拡大し、工場労働者に対する労働災害という範囲から、鉄道、自動車、航空機などを利用する者あるいは家庭内で機械（電化製品など）を利用する者に対する利用者被害へ拡大した。一度の技術事故がもたらす被害も、地理的範囲でも 1 つの地域から広域へと拡大し、被害者数も数人単位から数百単位へと拡大している。

こうした被害の拡大の背景には、あらゆる領域へ最新技術が普及し、社会全体が機械化、技術化されていることがある。社会的活動の基盤や人間の生命維持に直結する領域にまで最新技術が利用されており、今日では、機械の故障がそのまま技術事故につながる構造を形成してい

る。特に鉄道、自動車、航空機などのように訓練を受け、免許を取得した特定の人間による技術の運用に止まらず、家庭電化製品などのように特別の訓練や免許を必要としない人間による技術の運用が、技術事故の新しい被害領域を構成しつつある。

こうした現実の中で、新技術を設計、製造、維持することを職業とする人々、特にエンジニアは、職業人の基本的能力に加えて、社会で機能する技術の諸問題についても「配慮する能力」が要求される。これは本稿で強調しようとしているエンジニアにおける「配慮問題」に対応する。

（２）大規模事故の年表

技術事故の歴史的分類作業の骨格は、前項で論じた内容を大きく変える必要性を感じないが、発生した事故を蓄積することは継続しなければならない。事故、災害に関わる一覧については、すでにいくつかの文献が刊行されている²⁶⁾。ここでは、そうした文献などを利用して、1970 年以降の主要な巨大技術事故をいくつかの分野に分類してみる（表）。分野としては、以下の 8 つを選んだ。

巨大技術事故	①ダムの決壊事故
	②工場の事故
	③交通事故
	④鉄道事故
	⑤船舶事故
	⑥航空機事故
	⑦原子力事故
	⑧宇宙開発事故

表：1970 年以降の大規模な技術事故に関する分類と年表（抜粋）：

＜ダムの決壊事故＞

大規模な土木建設設備の事故

- 1971 年 3 月 18 日 ペルー・ヤナウアリアダム決壊事故、被害の内容：死者 1,300 人
 1972 年 6 月 11 日 アメリカ・キャニオン湖ダム決壊事故、被害の内容：死者・行方不明者 1,700 人
 1979 年 8 月 11 日 インド・マンチュダム決壊事故、被害の内容：死者約 1,000 人、近代的な機械制大規模工場における爆発、危険物質流失事故

＜工場の事故＞

工場の爆発、危険物質流失事故

- 1976 年 7 月 10 日 イタリア・ミラノ近郊セブソの化学工場爆発事故、事故の内容：数 kg のダイオキシン（猛毒性）が流出 将来の奇形児の原因
 1984 年 11 月 19 日 メキシコのカス貯蔵庫爆発事故、被害の内容：死者 486 人
 1984 年 12 月 2 日 インド・ボパールの農薬工場毒ガス漏れ事故、事故の内容：プラントからメチルイソシアンが漏れだした、被害の内容：死者 2500 人、中毒症患者数約 32,000 人

＜交通事故＞

危険物輸送による大量死、地域汚染

- 1978 年 7 月 11 日 スペインの大型タンクローリー爆発炎上事故、事故の内容：プロピレンガス 38 トン積載車が衝突・爆発、被害の内容：死者 245 人
 ＜鉄道事故＞人物の大量輸送時の事故で大量死
 1985 年 1 月 13 日 エチオピアージブチ鉄道転落事故、被害の内容：死者 400 人
 1989 年 6 月 3 日 シベリア鉄道の 2 列車衝突事故、被害の内容：死者 190 人
 1995 年 8 月 インド、ウッタルプラデシュ州の鉄道衝突事故、被害の内容：死者 250 人
 1998 年 6 月 3 日 ドイツ ICE 脱線事故、被害の内容：死者 95 人
 1998 年 11 月 26 日 インドパンジャブ州 列車同士の衝突、脱線、被害の内容：死者 108 人
 1999 年 3 月 15 日 アメリカでアムトラックがトラクターと衝突脱線、被害の内容：死者 13 人

＜船舶事故＞

旅客輸送事故で汚染拡大、大量死

- 1978 年 3 月 16 日 フランス西岸の石油流出事故、事故の内容：リベリアタンカーの座礁、被害の内容：24 万キロリットルの原油流出（海洋汚染の最悪記録）
 1986 年 8 月 31 日 ソ連客船「ナヒモフ」号衝突沈没事故、事故の内容：客船と貨物船との衝突、被害の内容：死者 398 人
 1987 年 3 月 6 日 英仏海峡横断フェリー転覆事故、被害の内容：死者 193 人
 1987 年 12 月 20 日 フィリピン・フェリーとタンカーの衝突事故、事故の内容：フェリー「ドニャパス」号とタンカーとの衝突、炎上沈没、被害の内容：死者 4317 人（海難史上衝突事故最大の死者数）

1989 年 3 月 24 日 アラスカのタンカー座礁原油流出事故、被害の内容：4 万キロリットルの原油流出（アメリカ最大の石油流出事故）

＜航空機事故＞

大量高速輸送手段における大量死

1977 年 3 月 27 日 カナリア諸島ジャンボ機衝突炎上事故、事故の内容：747 型機同士の離陸時の衝突、被害の内容：死者 575 人

1979 年 5 月 25 日 アメリカン航空機オヘア空港墜落炎上事故、事故の内容：DC10 型エンジン脱落、被害の内容：死者 274 人

1979 年 11 月 28 日 ニュージーランド南極遊覧機墜落事故、事故の内容：DC10 型 ホワイト・アウト、被害の内容：死者 257 人

1980 年 8 月 19 日 サウジアラビア航空機爆発炎上事故、事故の内容：機内より火災、被害の内容：死者 301 人（単独機事故 史上第 3 の惨事）

1985 年 6 月 23 日 インド航空機アイルランド沖爆発墜落事故、事故の内容：747 型の爆発（テロの疑い）、被害の内容：死者 329 人

1985 年 8 月 12 日 日航ジャンボ墜落事故、事故の内容：747 型金属疲労、整備ミス、被害の内容：死者 520 人（単独事故での死者数が史上最大）

1985 年 12 月 12 日 アメリカ軍チャーター機墜落炎上事件、事故の内容：DC8 型離陸直後の墜落、被害の内容：死者 258 人

1988 年 7 月 3 日 イラン航空機墜落事故、事故の内容：アメリカ軍の誤射、被害の内容：死者 290 人

1994 年 4 月 26 日 中華航空機墜落、事故の内容：エアバス A 300-600R 操縦事故、被害の内容：死者 264 人

＜原子力事故＞

1963 年 4 月 10 日 アメリカ原潜「スレッシャー」号沈没事故、事故の内容：機関室でのパイプ系統の故障、被害の内容：死者 129 人

1979 年 3 月 28 日 アメリカ・スリーマイル島原発事故、事故の内容：冷却水ポンプ故障を基点とし放射線物質の大気への放出、被害の内容：放出量（正式報告）希ガス 250 万キュリー、ヨウ素 17 万キュリー

1986 年 4 月 26 日 チェルノブイリ原発事故、事故の内容：実験中の操作ミス 暴走起こしやすいタイプ＋操作管理、被害の内容：放射性物質の大気への放出 希ガス放出 1 億 3600 万キュリー（実際

は 4 億キュリー程度？）

1989 年 4 月 7 日 ソ連原潜ノルウエー沖炎上沈没事故、事故の内容：火災による沈没、被害の内容：死者 42 人、核弾頭の紛失

1999 年 9 月 30 日 日本東海村 JCO で臨界事故、事故の内容：ウラン原料製造中における臨界事故、被害の内容：死者 1 人

＜宇宙開発事故＞

巨大先端技術における象徴的な事故

1967 年 1 月 27 日 宇宙船「アポロ」1 号訓練中の火災事故、事故の内容：訓練中に船内で出火、被害の内容：死者 3 人

1970 年 4 月 11 日 宇宙船「アポロ」13 号支援船内で爆発、事故の内容：燃料電池用の液体酸素タンクでの爆発、被害の内容：死者 0 人

1971 年 6 月 30 日 宇宙船「ソユーズ」11 号帰還中の事故、事故の内容：軟着陸に成功したが 3 飛行士が死亡、被害の内容：死者 3 人

1986 年 1 月 28 日 スペースシャトル「チャレンジャー」空中爆発事故、被害の内容：死者 7 人

2003 年 2 月 1 日 スペースシャトル「コロンビア」空中分解事故、事故の内容：断熱材の剥がれたままの大気圏突入、空中分解、被害の内容：死者 7 人

（3）日常生活に拡大する技術事故

巨大事故の問題の影となって大きく取り上げられることが少ないが、家庭電化製品などを含む日常生活で用いる機械、機器、技術による事故も頻繁に起きている。つまり、技術事故としてはとりあえず、次のような 3 に区別できるだろう。

技術事故

通常技術事故
巨大技術事故
製品技術事故

この内、製品技術事故は、特殊な訓練も免許も無しに、機械、機器、技術を利用している人間における事故を含む。利用法などの訓練を受けていないにも拘わらず、利用している機器類は最新のテクノロジーから構成されている。その分だけ、生じる危険性も完全には予想できないものも多い。

こうした領域に分類される事故例として、

2004 年 3 月 28 日に六本木の高層ビルに設置されていた大型自動回転ドアで起きた死亡事故がある。6 才の男の子がドアに挟まれて死亡するという痛ましい事故を再発させないためにはどのような対策を取るべきか、まだ十分な検討はなされていないようだ。少なくとも、回転ドアをすべて撤去することが問題の真の解決ではないと思われる²⁷⁾。自動回転ドアは「動く高級建具」であって、そのために重量が大きくなり、センサーをつけても危険性が高い装置であるとの議論もある²⁸⁾。しかし、今回の事故が提起した問題は、危険な装置ならば排除すれば良いという単純な内容ではない。むしろ事故が起きるまで危険性を認識できなかったこと、あるいは危険性を認識しようとする十分な努力を行ってこなかった点である。これについても日本には回転ドアに対する明確な安全基準が無かったからという原因説明はあるが、むしろ開発者が自動回転ドアの大型化などに付随して生まれる危険性に十分な配慮をしてこなかったことに注目する必要がある。

一方、生活の中で起きる技術事故として製品事故と呼ばれる領域がある。例えば子供用屋外遊具による事故も大きな問題となっている。国民生活センターの情報では、1997 年度から 2002 年度までの屋外型固定遊具にかかわる事故は 1799 件、その 9 割が 10 才未満であるという。現時点ではこうした遊具については、国土交通省が 2002 年 3 月に策定した「都市公園における遊具の安全確保に関する指針」が存在している²⁹⁾。この指針に沿って安全基準が作られるものの、現実には保護者への利用上の注意や自治体への安全対策の要望に止まっている。子供を対象とする遊具（製品）を設計する際には、成人が利用する製品よりももっと厳しい配慮が設計者に求められる。ただし、安全対策を、まず法律等の制定で作り上げることも必要であるが、今後は、設計者の安全性への配慮（安全設計思想）の向上も不可欠である。

加えて、消費者全般に関わる製品事故については、1973 年 6 月に通商産業省（現在の経済産業省）が制定した「消費生活用製品安全法」（法律第 31 号）、さらに 1994 年 7 月に制定（施行は 1995 年 7 月）された「製造物責任法」（法

律第 85 号）によって、安全性が確保されやすくなった。こうした対応によって、家庭電化製品などの生活関連の技術事故は減少するようになったといわれる。それでも「1980 年代までのテレビは燃えやすかった」のは、画面の大型化と多機能化による高電圧放電への不十分な対応にあったという点で、設計における高機能化、省エネ化、コスト削減化という要求が強まる中で、安全性がまだ最優先の課題になっていなかったことによる³⁰⁾。この部分への対応に対しては、既存の法律では不十分で、やはりエンジニアによって安全性を確保しようとする配慮、そのような倫理観に期待することになる。

5. 終わりに代えて

本稿で示そうとした論点は以下のようにまとめられる。過去においてエンジニアが失敗してきた歴史（技術事故事例）を収集し、どのような対応を迫られてきたかを理解することは、技術者倫理における配慮問題を解決する第 1 の作業である³¹⁾。繰り返せば、エンジニアが倫理的領域として持つべき能力として、エンジニアが取り扱う具体的な技術問題（設計や製造など）において、その技術がどのような危険性を潜ませているか、安全性を確保するためにはどのような対応が不可欠か、という「配慮力」が含まれるということである。

こうした議論に立つと、次のような事例も類似の主張をしているように理解できる。

工学院大学の畑村洋太郎は論説「タンク火災考える能力磨き事故防げ」の中で、出光興産北海道精油所ナフサタンクの爆発など、近年頻発した各種タンクの爆発炎上を事例にして、その背景として、それまでにあった技術者の「暗黙知」が引き継がれていないと説明している³²⁾。ここで言う「暗黙知」とは、「その業界の人間なら誰でももっている知恵」であると表現しているが、言わんとすることは、既存の安全基準を前提とせず、日頃からエンジニアが「どうしたら、万全の安全対策を気づけるか。工業で火災が起きるとすれば、どんな道筋があるかを考える」ことだと説明している。こうした主張は、本稿で用いている「配慮問題」と共通す

る部分をもっている。

一方で、以下のような現実も指摘されている。たとえば、社会経済生産性本部が本年度はじめに発表した新入社員意識調査によれば、「自分の良心に反しても会社の指示に従う」と答えた新入社員の割合が 43.4 %に達し、30 %程度であった前年まで数値を大きくを上回ったという。調査結果ではその要因にも触れ、長引く就職不況があることがこのような結果が出た背景にあると指摘している³³⁾。この調査対象は新入社員の出身分野（大学学部など）別となはっていないが、仮に理工系高等教育機関を卒業した新入社員の意識も同様に示すものであったとするならば、技術事故を防ぐ大切な担い手を失いつつあることになり、深刻な問題を提起していることになる。すなわち、第1には、不幸にして、不正行為や事故に結びつきそうな情報を手に入れた場合、こうした傾向をもつ人々は、自分の良心を押さえ、よけいな正義感を持たないようにすることで、「倫理的ジレンマ」から逃れようとする可能性が高いことになる。第2には、こうした意識に関わって、他人に対する配慮や、利用者、消費者が被るであろう被害予測などに関心を持つ気持ちが高まってこない危険性がある。

こうした現状を考慮に入れるならば、近年導入されつつある技術者倫理教育の役割はさらに大きくなっているといえるだろう。しかし、その一方で、現時点での技術者倫理教育は、残念ながらまだ研究途上の分野にあり、担当者による模索が続いているといえる。筆者もその一翼を担う立場に身を置いているが、筆者自身の研究バックグラウンドに引っ張られ過ぎの欠点もあるが、本稿で述べたように過去の技術事故事例を系統的に理解することは、技術者倫理教育の方法論の1つとして不可欠なテーマであると考えている。

技術事故の歴史的分類作業を踏まえ、具体的に技術者がどのような配慮問題に関わってくるかについての検討は、今後の課題としたい。

(平成16年6月17日受理)

注と文献

- 1) 巨大大事故論については、著者の以下の論考で取り上げた。河村豊「技術事故の歴史についての予備的考察—環境に与える技術事故の影響と事故原因論の枠組み—」『イル・サジアトーレ』No.24, 1996年5月, pp.31-38.
- 2) 入手できた最新の教科書にも、この2つの事例が取り上げられている。札野順『技術者倫理』（放送大学教材 1126911-1-0411, 放送大学教育振興会, 2004年3月）。特にチャレンジャー事故については、25ページに渡って説明している。
- 3) 技術者倫理教育に関わる接近方法については、以下の論考の中で検討した。本稿では基本的にそこで論じた枠組みに従って議論を行うものである。河村豊, 川北晃司, 浅野敬一「技術者倫理教育に関わる現状分析とカリキュラム化への試み」『東京工業高等専門学校研究報告書』第35(2)号, 2004年1月, pp.27-41.
- 4) 「三菱自動車ハブ 実験途中、見切り生産 他社の攻勢受け新型車投入急ぐ」『朝日新聞』2004年4月4日付。
- 5) 時事通信（インターネット）2004年5月2日付。
- 6) 時事通信（インターネット）2004年5月3日付。
- 7) 『朝日新聞』2004年5月7日付。
- 8) 『朝日新聞』2004年5月28日付。
- 9) 『朝日新聞』1997年4月23日付「論壇」。同時期に次のような記事が連載されている。「徹底検証 動燃工場爆発1～6」『朝日新聞』1997年3月24日～29日まで連載。
- 10) 大島秀利「動燃事故は何を問うているのか—もんじゅが提起した問題は無視された—」『世界』1997年5月, 27-30.
- 11) 『朝日新聞』1999年12月31日付け「論壇」
- 12) 山内は、第3の「生産的組織」にのみ積極的意味を見いだし、「組織の潜在的な危

- 険を絶えず探し、危機をさけるための具体策を講じる絶え間ない活動」を行うことを期待している。さらに山内は「集団の心理過程を分析した予防策でない限り次の組織事故を防ぐことはできないだろう」と説くが、心理学の活用だけを強調しているわけではなく、既存の事故調査委員会に心理学の専門家も加えるべきであると提案している点は、説得力がある。同上。
- 1 3) ジェームズ・リーズン／塩見弘，高野研一，佐相邦英訳『組織事故 起こるべくして起こる事故からの脱出』（日科技連，1999年4月）354p. 原著：James Reason, Making the risks of organizational accidents, 1997.
 - 1 4) 「組織の病巣深く 焦り：安全より日程優先，沈黙：意見封じる階級制，慢心：「帰還後に修理」危険性確かめず」『朝日新聞』2003年9月3日付
 - 1 5) 同上.
 - 1 6) 『朝日新聞』2003年8月28日付「社説」
 - 1 7) 例えば，以下の著作は，当時の水俣工場での技術者が取った行動を描いており，技術者倫理教育の教材としても役に立つ。NHK 取材班「チッソ・水俣 工場技術者たちの告白」『戦後 50 年 その時日本は』第3巻（NHK 出版，1995 年）
 - 1 8) 巨大技術論と呼べる議論は，日本では1980年代から登場している。代表的な著作としては以下のものがある。江沢洋編『巨大技術と人間』（朝倉書店，1983 年），近藤次郎『巨大システムの安全性 事故はなぜ起きるか』（講談社，ブルーバックス，1986 年），岸田純之助編『巨大技術の安全性 事故・災害は不可避か』（電力新報社，1987 年），高木仁三郎『巨大事故の時代 叢書・死の文化 6』（弘文堂，1989 年），桜井淳『崩壊する巨大システム』（時事通信社，1992 年4月）。
 - 1 9) 桜井，前掲書 p.7.
 - 2 0) 高木，前掲書 p.178.
 - 2 1) 高木，前掲書 p.64.
 - 2 2) 桜井，前掲書 p.226.
 - 2 3) 桜井淳『事故は語る 人為ミス論 巨大システムを事故に陥れる社会メカニズムを検証する』（日経 BP 社，2000 年1月）。
 - 2 4) D&M 日経メカニカル『事故は語る 1998-2003 巨大化するトラブルの裏側』（日経 BP 出版センター，2003 年5月）。
 - 2 5) 河村豊「技術事故の歴史についての予備的考察—環境に与える技術事故の影響と事故原因論の枠組み—」『イル・サジアトーレ』No.24, 1996 年5月。
 - 2 6) 利用した文献は次の通り。溝川徳二編『92 年版 事故・災害 日本と世界の主要全事故・災害総覧』（教育社 1992 年），平野敏右編『環境・災害・事故の事典』（丸善株式会社，2001 年3月），災害情報センター編『災害・事故事例事典』（丸善株式会社，2002 年9月）。
 - 2 7) 「回転ドアはどこへ行く 効用は管理と高級感だけ？」と題する記事によれば，事件後に森ビルや三菱地所らは所有するビルから自動回転ドアを撤去することを明らかにしたという。『朝日新聞』2004 年5月31日付。
 - 2 8) 田島順三製作所発 事故の回転ドア「動く高級建具」重量優先背景に 安全性と両立に腐心」『朝日新聞』2004 年4月27日付。
 - 2 9) 国土交通省 HP <http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/04/040311.html> より
 - 3 0) 社団法人日本消費生活アドバイザー・コンサルタント協会 NACS 消費生活研究所『商品安全白書—くらの安全徹底ガイド』（悠々社，1998 年5月）。
 - 3 1) 次の文献は，過去の設計における失敗事例を，将来の設計に役立てることを論じている。ヘンリー・ペトロスキー，中島，綾野訳『橋はなぜ落ちたのか 設計の失敗学』（朝日選書，2001 年10月）。
 - 3 2) 『朝日新聞』2003 年10月18日付
 - 3 3) 「就職厳しく？今年 11 ポイント増」『朝日新聞』2004 年4月27日付

日本における経営倫理の現状と課題

—技術者倫理教育を展望して—

浅 野 敬 一*

The State and Problem of Business Ethics in Japan —With the Prospects for Education of Engineering Ethics—

Keiichi ASANO

Japan is taking an increasing interest in business ethics in response to the high frequency of accidents, scandals and illegal acts. At the same time, engineering education is actively introducing 'Engineering Ethics'. However an ethical work environment is necessary to put engineering ethics into practice. Business ethics and engineering ethics are complementary. Recently, business ethics is growing into a firm area of study. On the other hand, many Japanese companies and business people misunderstand business ethics. This article will reconsider the process of business ethics in the United States by integrating the results of economic and business history, introducing some relative aspects of business ethics.

(Keywords : Business Ethics, Education of Engineering Ethics.)

1. はじめに—問題の所在—

近年、日本においても、企業をはじめとする組織の経営倫理に対する関心が高まっている。背景に、技術的原因による重大事故のみならず、反社会的勢力との癒着や情報の漏洩等、管理上の問題による事件の頻発があることは、言をまたないだろう。企業が、自らの存続を確保するためには、社会の福利に貢献し、その対価としての利益を得るとともに、危害や不祥事の発生を阻止する必要がある。例えば、日本経済団体連合会は、2002 年 10 月に企業行動憲章及び企業行動憲章実行の手引きを改定し、会員企業各社に対して、企業不祥事防止策の確立を求めた。その背景には、雪印乳業の集団食中毒等、消費者との関係における重大事件が相次いで発生し、経済界全体が社会の強い批判にさらされたことへの危機感があった。最近でも、三菱自動車や三菱ふそうのリコール隠し等、日本を代表する企業の事件を受け、新たな取り組みを迫られている。

一方、工学系高等教育機関が取得を進めている日本工学教育認定機構 (JABEE) の認定基

準においても、「技術が社会や自然に及ぼす影響や効果、および技術者が社会に対して負っている責任に関する理解 (技術者倫理)」を学習・教育目標として設定するよう教育機関に求めている。こうした技術者倫理教育を重視する姿勢は、技術事故防止に対する社会や消費者の要請に応えるものだが、企業で働く技術者が、倫理的に行動し得るためには、同時に、企業としての経営倫理の確立も不可欠である¹⁾。

このように、日本における経営倫理確立への取り組みは、一部企業では相当の進展が見られ、社会的関心も高まっているが、依然として多くの課題を残している。第一に、学術研究における関心の偏りである。近年の日本における経営倫理研究が、目覚ましい進歩を遂げていることは確かである。しかし、その業績の多くは、米国における経営倫理研究を源流とする一方で、企業経営を取り巻く環境への関心に欠ける場合が多い。そのため、法制度のみならず、産業構造や社会経済体制の相違を消化し、日本における企業経営の実情に適合させる作業が十分に行われているとはいえない。これに関係し、

第二の問題として、多くの日本企業でも、経営倫理の目的とその具体的施策に対する理解が深まっていない。戦略不在のまま、にわか作りのシステム構築に奔走する結果、内部通報制度等への反発と不信感、さらには「欧米流の性悪説に基づく仕組み」という安易な文化論に基づく評価に終わる場合が少なくないのである。

そこで、本稿は、こうした課題を踏まえ、経済史や経営史等の研究成果を総合しつつ、米国を中心とした経営倫理及び経営倫理研究の展開過程を史的に再考し、経営倫理の実効性向上及び技術者倫理を実現する環境整備に資することを目的とする。

2. 米国における経営倫理の発展過程

(1) 経営倫理の萌芽

米国でも、経営倫理が学問分野として確立した時期は比較的新しく、1970 年代頃とされる。しかし、国家による法規制のみならず、企業が自らの社会的責任を意識するようになった歴史は、20 世紀初頭に遡り、かつそれは企業経営の枠にとどまらず、社会システム全体の変化に対応する試みでもあった。

1920 年代の米国では、一部の経営者の間で、健康的で豊かであり、かつ協力的な労働力の存在は、経営側にも利益があるという理解が生まれつつあった。自動車や家電製品等、加工組立産業における大量生産の導入は、低賃金に加え、単調で細分化された作業の反復を生んだ。

例えば、T 型の大量生産を開始した後のフォードでは、離職率が年率 300% を超え、生産性の低下に見舞われた。フォードは、ヘンリー・フォードの方針に基づき、労働組合の結成を禁止する一方で、労働時間や賃金等の労務政策を根本的に見直した。当時の人事部長であったリーは、当初、「主に機械装置や原料をより重要なものと考え、人間的要素、つまり労働者は自動的にそれに適応するものであり、従って特別な考慮を払う必要はない。」と考えていた。しかし、長年勤勉に働いていたある労働者の能率がある日突然落ち、機械には何も問題はなかったために、件の労働者と話をしたところ、「病氣、負債、その他の家庭に関する事柄についての恐れや不安が彼を捉え、生産にとって必要な

物事との間にあった調和状態から彼を引きずり出してしまった。」と認識を改めたという²。

1914 年に入ると、フォードは、労働時間を 1 日 9 時間から 8 時間に短縮するとともに、当時の平均賃金の倍に当たる日給 5 ドル制を採用した。この賃金制度の特徴は、利益に応じた付加賃金率の割合を下位労働者に加重配分することで、基幹労働者のみならず、昇進の見込みのない、あるいは昇進を望まない労働者を含め、ジョブ・ホッピングを防止し、作業効率の向上を図ったのである。

加えて、フォードをはじめ、耐久消費財を大量生産する企業の経営者は、労働者の購買力向上が、企業の存続に不可欠と考えようになった。そのためには、生産性の向上のみならず、自社製品の市場を確保するためにも、賃金を中心とした労働者の生活部面に配慮した労働政策の重要性が認識され、いわゆる企業福祉資本主義が成立したのである³。

また、一部の大企業では、経営と所有の分離が進み、経営者は、株主からの受託者として位置づけられた。こうした企業統治形態の変化は、株主または株価を重視した経営の素地となる一方、経営者に対する株主のモニタリング機能を生み出すことになった。さらに、ゼネラル・エレクトリックのヤング等は、株主のみならず、従業員、顧客及び一般公衆に対するバランスの取れた責任を提唱し、経営に関する倫理規程の制定等を進めた⁴。このように、1920 年代の米国では、従業員や株主との関係を入り口に、今日の経営倫理における基本的概念のひとつである、ステークホルダー（利害関係者）への責任が、一部の企業で認識され始めたのである。

企業福祉資本主義の成立や企業統治の変化に伴う経営倫理の萌芽は、企業が社会との新しい関係構築を目指した、自発的取り組みであった。しかし、1920 年代の一連の改革は、大量生産の普及という社会構造の巨大な変化に対しては無力であった。第一に、企業福祉資本主義は、企業の自発性を重視する一方で、経済分野に対する国家の介入を拒否し、自由放任を信奉する一部大企業群の現状維持の取り組みでもあった。企業福祉資本主義とそれに基づく経営倫理の採用は、一部の企業に限定されたので

ある。また、国家介入の否定は、即ち社会制度の根本的変革を遅らせた。そのため、第二の問題として、各ステークホルダーの社会的地位の向上は実現せず、企業経営に対する十分なモニタリング機能を有することはなかった。労働者は、大衆の購買力維持と労使関係の安定を目的とした家父長主義的利益分配に依存するのみで、むしろその対象外の者との格差が増大し、社会構造を不安定なものにした。また、依然として生産者意識の強かった一般大衆は、大量に供給される財やサービスを購入しながらも、企業との関係において、自らを消費者として位置づけるには至らなかった。さらに、出資者である株主も、企業の情報開示が不完全な状況では、一部の大株主を除き、経営に対する有効な監視は不可能であった。つまり、この時期には、企業の代表的ステークホルダーである株主、労働者及び消費者のいずれもが、企業と対峙し得る社会的地位を確保できなかったのである。

(2) ニューディール体制の出現とステークホルダーの社会的地位確立

1920年代の企業福祉資本主義は、大衆の購買力を確保するための高賃金を唱えたものの、マクロ経済政策としては、余りにも局所的で、また迂遠であったため、大恐慌の発生を許し、破綻を見ることになった。結局、30年代以降は、大衆の購買力維持と労使関係の安定を目指す点では共通項をもつものの、一部企業の家父長主義的あるいは啓蒙的企業経営への依存ではなく、経済分野に対する国家の介入を強化したニューディール体制に移行したのである。

ニューディールはきわめて多様な性格をもつ体制である。しかし、ごく簡単には、連邦政府が財政政策により総需要を管理する一方で、個別の財政支出や政策に伴う便益を経済団体や労働団体等、政府が緩やかに管理する諸集団を通じて分配することで、各社会階層間の対立を最小限に抑制する社会システムといえる。とりわけ、大恐慌発生直後の中央集権的計画経済を放棄した後は、政府は、利害の対立する諸階層間の妥協を成立させるために、経済的に脆弱な集団を支援し、他集団への拮抗力をもたせることを主要な利害調整手段とした⁵。その一環として、政府の支援を受けたいくつかの社会階

層は、20年代には脆弱であった地位を急速に強化したのである。

第一に地位を確立した集団は、株主、特に大衆株主である。証券会社や投機筋等による株価操作は、世論の疑惑の対象であり、企業経営の実態と乖離した株価形成は、大恐慌の発端とされた。そこで、ルーズベルトは、株式市場に対する信頼を回復するために、1933年に証券法を制定、翌34年には証券取引委員会を設立、大衆株主を含めた株主は、企業のステークホルダーとしての地位を築いたのである⁶。続いて、1935年のワグナー労働法の成立は、労働者の権利擁護が円滑な経済運営に寄与することについて、一定の合意が形成された画期であった⁷。労働組合は、株主に続き、企業の重要なステークホルダーとして位置付けられたのである。一方、消費者の組織化は遅れをとり、ニューディール期には実現しなかった⁸。しかし、1960年代になると、一部市民グループや研究者等を核とした消費者運動が高揚、ネーダー等の専断的活動家も出現し、必ずしも直接の顧客ではない場合を含めた消費者が、新たなステークホルダーとして明確な地位を得た。また、1962年3月には、ケネディが、「消費者の利益の保護に関する特別教書」を発表、政策的にも消費者の活動が一定の支持を得たのである⁹。

(3) 企業不祥事の頻発と経営倫理概念の形成

企業を取り巻く各ステークホルダーの地位を確立する一方で、1970年代に入ると、米国では、ウォーターゲートやロッキード事件等、内外の政権を揺るがす企業不祥事が頻発した。こうした事態を受け、ハーバードをはじめとするビジネススクールが、経営倫理の講座を開始、倫理的思考体系に基づく意思決定、それを実現する組織構築と管理技術及びコミュニケーション能力をビジネス・リーダーの重要な要素と位置づけた。また、倫理学の分野からも、医療倫理や生命倫理等と並ぶ応用倫理の一分野として取り組みが始まり、経営倫理がひとつの学問及び教育分野として成立したのである。

学問分野としての成立は、同時に、経営倫理概念の整理と明確化をもたらした。それまで、企業の社会的責任の範囲には、社会貢献活動や

寄付活動等、外部や社会全体に対する能動的施策を含んでいた。しかし、不祥事の頻発を背景に生まれた経営倫理は、逆にこれらの善行が免罪符になることを懸念、不祥事や危害の防止を優先すべき目的に据えた。こうして、①正しい行為や最善の行動のあり方を組織構成員に認識させること、②不正行為を思いとどまらせること、③発生時の被害や影響を最小化させること等、企業経営における予防倫理の確立を目指した経営倫理概念が形成されたといえる¹⁰。

(4) 1980 年代における「経営倫理」への関心の高まり—国防産業への批判を背景に—

1970 年代は、教育・研究分野における経営倫理概念の整理と発展をみたものの、企業や政府等の施策に大きな影響を与えるには至らなかった。ところが、80 年代の共和党政権期、連邦財政の縮減が進むなか、唯一例外的に拡大した国防支出に対する監視の目が厳しくなった。特に、兵器を中心とした国防調達に多くに用いられる利益保証(CPFF: Cost Plus Fixed Fee)契約により、防衛産業が暴利を得ているとの批判が生じたのだ。CPFF 契約は、国防生産増強を目的として第二次大戦中に導入された契約形態で、政府調達一般に用いられる競争入札ではなく、政府と契約予定企業の交渉による随意契約であるうえに、企業側の積算したコストに一定割合の利益を加算した金額で契約するものである。特に、朝鮮戦争期以降、高度化した武器を供給し得る企業が限定され、防衛産業側の交渉力が強化されていた¹¹。こうした、国防支出という巨大な便益を独占する防衛産業の特権的地位が、財政削減を機会に、納税者や予算削減に直面した集団から批判を受けたのである。

政府の対応は迅速で、1985 年 7 月には、大統領諮問委員会が設置された。同委員会は、翌年 6 月には最終報告書を提出、「国防省と契約する企業の経営者と労働者は、我々の軍隊、納税者及び国家に対して、独自の責任を負うべきである。また、それらの者は、最高水準の経営倫理と管理を採用し、かつ理解する必要がある。」と指摘したうえで、合衆国国民が、防衛費の浪費を深刻な問題と捉え、その原因を違法

な企業活動と貧弱な管理体制の双方に求めているとして、防衛産業に対して、法令遵守のみならず、法令を超えた倫理基準及びそれを達成する管理体制の強化を求めたのである¹²。

これを受けて、防衛産業側も、防衛産業協議会(DII: Defense Industry Initiative on Business Ethics and Conduct)を組織、諮問委員会の勧告に基づき、法令の規制を超えた内容を含めた倫理規程の制定、従業員に対する倫理教育の実施、内部通報制度の整備、内部統制の充実、ベスト・プラクティスの共有及び社会への説明責任等を加盟企業に求めた。今日に至る経営倫理の基本的手法を確立し、かつそれらを初めて実践の場に適用した画期といえよう。ただし、政府と DII の取り組みは、あくまでも高水準の国防支出を維持し、産軍複合体を強化するためのもので、幅広い分野の企業に影響を与えたとは言い難い。

一方で、連邦量刑ガイドラインの制定は、防衛企業に限らず、多くの企業に対して経営倫理の確立を促した。連邦量刑ガイドラインは、連邦議会が、1987 年から判決の量刑に一定の基準を設けたものだが、91 年には、組織犯罪に関する規定を追加、違法行為防止プログラムを有する企業に対しては、万一違法行為が発生しても組織ぐるみの犯罪とは見なさず、罰金額等の軽減を定めたのである。連邦量刑ガイドラインは、様々な分野の企業が倫理規程の制定等の施策を導入する契機となり、以後、コンプライアンス型と呼ばれる、違法行為防止を重視した経営倫理が確立を見るのである。

連邦量刑ガイドラインの制定は、企業に対して、経営倫理向上に向けたインセンティブを付与し、相当の効果をあげたといえるが、同時に、いくつかの留意すべき限界を有している。第一に、企業、特にその従業員が、取り組みに対する積極的意義や利益を見出すことが難しい点である。DII をはじめとする防衛産業の場合は、当初は政府が主導したとはいえ、国防支出のもたらす巨大な便益の保持、換言すれば産軍複合体の維持という明確な目的と利益を有していた。しかし、単に連邦量刑ガイドラインを意識した経営倫理体制の構築は、不法行為が現に生じた企業には減刑等の恩恵があるものの、逆に

確実に法令を遵守している限りは、具体的利益を得られないのである。第二に、法による制裁を免れても、当該企業の存続が社会的に許容されるとは限らない点である。企業は、国家のみならず、むしろそれ以上に、顧客をはじめとする多様なステークホルダーの支持を得ることで、社会的存在を許される。例え、重大な法令違反を犯さなくても、あるいは刑を減じられても、社会的に存続を否定されては、経営倫理の目的を果たしたとはいえない。

このように、1920年代に、一部企業の自発的な、ただし現状維持を目的として始まった経営倫理への取り組みは、30年代以降のニューディール体制の下で、各ステークホルダーの地位の確立とそれに伴う企業へのモニタリング機能の強化が進んだ。その後、学問的確立をみた70年代を経て、80年代の共和党政権期においては、規制緩和や財政削減が進む一方で、逆に国家や法の主導により、企業の社会的責任への意識を高め、経営倫理の向上が進められたといえる。

(5) 近年の米国における経営倫理の動向

米国企業では、80年代から90年代初頭にかけて、大企業を中心に、コンプライアンス型経営倫理の定着を果たしたとされる。一方、90年代後半からは、上記で指摘したコンプライアンス型経営倫理の限界を打破するために、新たな取り組みが出現する。それは、禁止事項を中心とした詳細な規則から大括りの行動原則を提示することで、従業員に倫理的価値を共有させ、経営倫理に対するより積極的取り組みを求める手法である。このように、先行したコンプライアンス型に加え、組織構成員に共通の倫理観を浸透させる経営倫理のあり方は、少なくとも、学問及び教育分野では、一定のコンセンサスを形成し、ビジネススクール等の教育においても、ほぼ例外なく採用されたといえる¹³。

しかし、こうした学問的成熟や一部企業における取り組みの進展にもかかわらず、2002年には、エンロンやワールドコム等、企業会計に係る重大不祥事が発生、事態は名門監査法人アンダーセンの消滅に至った。これに対して、議会は、同年7月には、財務報告や監査に対する公的規制の強化による投資家の保護を目指し、

サーベンス＝オクスリー法を可決した。同法は、事態の收拾を急いだブッシュ政権及び共和党の主導により、異例の短期間で成立したが、企業不祥事に対する政府及び議会の迅速、かつ毅然とした姿勢を印象付け、米国経済と株式市場に対する信頼回復という点では一定の成果を収めたといえる。一方で、最高経営責任者(CEO)は、財務報告に不正な内容があった場合には、虚偽報告の意図の有無に関わらず刑事罰の対象になる等、会計監査を中心に、きわめて厳しい内部統制の実行を規定している。そのため、CEOは、財務報告の詳細な事項の検証が不可能でありながら、刑事罰のリスクを負う等、実効性に対する批判も多い。本稿は、サーベンス＝オクスリー法の内容に関する検討を目的とはしない。しかし、同法の制定は、経営倫理の実現には、企業の自律的推進に加え、各ステークホルダーによる監視、さらに立法措置を含めた国家等の関与という三方向における取り組みを必要とする証左といえる。

3. 日本における経営倫理の現状と課題

(1) 企業不祥事の頻発と経営倫理への注目

日本においても、経営倫理やこれに類する概念は、古くから提唱されてきた。創業者の家訓や社訓には、時代を超えて有効な指針を提示するものが少なくない。

ところが、近年、経営倫理の問題が特に注目を集めた背景には、日本を代表する企業における相次ぐ組織犯罪や不祥事の頻発とこれを受けた経営倫理向上への取り組みがある。経団連も、2002年10月に企業行動憲章及び企業行動憲章実行の手引きを改定し、会員企業各社に対して、企業不祥事防止策の確立を求め、会員企業間でも、行動指針の整備や教育の実施等の取り組みが進んだとされる。しかし、その後も、西武鉄道の総会屋利益供与事件や三菱自動車のリコール隠し事件等、経団連会員企業に限っても重大な事件が続発した現実を勘案すれば、一連の取り組みが有効な成果を収めたとはいえない。

一方、学問分野においても、日本経営倫理学会を中心に、活発な研究が展開されているが、こうした成果が、各方面において適切に活用さ

れているとは言い難い。むしろ、企業経営の現場の一部からは、経営倫理に対する反発や疑問が声高に叫ばれる程である。

(2) 経営倫理の意義及びその手法に対する誤解

こうした問題の背景のひとつには、米国を起源とする経営倫理の諸方策が、必ずしも日本企業を取り巻く環境に適合するように消化されていないことがある。特に、バブル崩壊後、ある種の自信喪失状態に陥った日本企業の多くは、「改革」の旗印の下、米国における経営手法を数多く導入してきた。しかし、多くの場合は、法制度や社会経済体制の相違を検証し、各社固有の経営環境へ適合させる作業が欠如しているため、形式的な制度導入にとどまっている。また、経営倫理向上を標榜しながらも、現実には人員削減等の手段確保を目的に導入された制度も少なくないのである。

経営倫理に関連する分野としては、企業統治もこうした問題を抱えるもののひとつといえよう。近年、日本では、CEOをはじめとする執行役員制度や社外取締役の導入、さらには委員会等設置会社への移行等、米国流とされる統治制度の導入を進める企業は少なくない。これらの制度導入が、「日本的経営」に起因する閉鎖的体質を打破し、経営倫理の向上にも寄与するとの評価が存在することも、制度導入にとどまらず、確実に成果をあげている企業が存在することも事実である。

しかし、各企業の環境を配慮せず、新たな統治制度のみを導入した場合には、その成果が少ないのみならず、問題の本質を隠蔽する危険性をも有している。例えば、株主やその委任を受けた取締役による経営の監視機能は、株式会社に固有かつ共通の事項であり、経営倫理の向上に寄与するものでもあるが、その実態には大きな差がある。株主総会、取締役会及び経営執行者の三者は、あくまでも制度上の株式会社構成要素に過ぎないのである。取締役と経営執行者が分離されていない場合、株式の持ち合いが進んでいる場合及び株主に対する情報公開が徹底されていない場合等においては、たとえ執行役員制度や社外取締役等の制度を導入しても、経営に対する監視機能は形骸化してしまうと

いえよう¹⁴。

財務省財務総合研究所の実施した企業統治に関する実証的研究においても、これらの問題点は明らかである。同研究は、執行役員制度について、制度導入に伴う取締役数の削減、改革のメッセージ発信及び先行企業の模倣等、監督と執行の分離による統治の向上や企業パフォーマンスに寄与する可能性は低いと指摘している。また、社外取締役制度についても、社外取締役の独立性を高め、情報提供等の支援機能を強化しない限りは、有効性は低いとして、制度先行の取り組みを批判している¹⁵。

このように、執行役員制度や社外取締役制度等、米国流の統治形態が普及し、法制面でも委員会等設置会社が創設される等、経営倫理の向上にも資する可能性を有する制度の導入が進んだことは確かである。しかし、現状では、これらの制度が十分に機能を果たし、経営倫理の向上に寄与したとは言い難いのである。

企業統治に加え、コンプライアンスについても、同様の問題を抱えている。コンプライアンスによる違法行為の発生防止は、上述のとおり、経営倫理を実現する重要な手法のひとつだが、コンプライアンス型の経営倫理は、従業員が、日常業務において積極的意義を見出し難いという限界がある。ゆえに、コンプライアンスの徹底とともに、企業の存続や収益の保持等、企業経営の使命とコンプライアンスに関する制度導入の目的を従業員に対して説得的に提示する必要がある。

また、制度の導入に際しても、表面的な倫理規程や担当部署の有無ではなく、経営幹部を含め、組織構成員に対する継続的な教育・研修が実施されない限り、コンプライアンスに対する制度の有効性は向上しない。しかし、現状では、倫理規程の制定や担当部署の設置にとどまり、教育・研修が欠如しているため、制度の有効性が低く、逆に従業員の失望を招く恐れさえある¹⁶。

(3) 経営倫理向上への課題

近年の日本では、不祥事続発等の事態を受け、経営倫理への関心が高まりつつあるが、その意義及び具体的手法については、十分に理解されているとは言い難い状況にある。では、こうし

た状況を打破し、適切な経営倫理を構築するために、経済界、政府及び学界に分けて、必要と考えられる取り組みを素描したい。

第一に、経済界は、経営倫理の意義と目的を正しく認識し、経営倫理の向上に向けて危機感をもって取り組む必要がある。例えば、経団連は、現在、2002年10月に改定したばかりの企業行動憲章について、さらに社会的公正さや環境経営等の内容を付加し、2004年5月18日に改訂した。こうした背景には、2002年の改訂後も不祥事が相次いだうえに、企業の社会的責任(CSR)について、国際標準化機構(ISO)による規格化や経済産業省による法制化の動きを牽制する意図がある¹⁷。確かに、規格認証や法により規定することは、経団連も指摘するように、各企業の環境を排した画一的経営倫理や企業の社会的責任のあり方を強制することになり、逆に実効性を減じる恐れがある。実際、法制化や支援策を検討する経済産業省の「企業の社会的責任(CSR)に関する懇談会」でも、出席した有識者からは、法制化や規格化には慎重な意見も出されている¹⁸。

しかし、一方では、現に企業、それも日本を代表する企業の不祥事が続発する状況を勘案すれば、経済界のより積極的取り組みとその成果が得られない限り、経団連の主張する「企業の自主性を尊重すべき」との論は、社会的には受け入れ難いだろう。各企業も、企業統治やコンプライアンスの問題に見られるような、闇雲な組織変更や制度導入ではなく、各々の環境に応じた施策を自発的に開発及び導入する必要がある。例えば、前出財務総合研究所の研究によれば、表面的に執行役員制度や社外取締役を導入するよりも、IR等の情報公開を徹底し、その結果として必要となる改革を推進するほうが、企業パフォーマンスとの相関関係が高いと結論付けている¹⁹。新たな経営手法の安易な導入や他者の模倣ではなく、実効性のある取り組みが求められている。

第二に、政府としては、対象とすべき領域を精査したうえで、最小限の法制化または規格化を推進すべきであろう。法制化はもちろんのこと、煩雑な規格認証制度の創設は、企業の負担を増大させ、認証ビジネスのレント・シーキン

グを生む温床となる。現段階では、法制化や規格化は、環境対策やリスクマネジメント等、個別領域に限定して進めるべきであろう。また、現行の法制度を整理し、企業経営の選択肢を拡張するとともに、経営倫理の向上を促す制度や支援策の構築も必要である。例えば、2002年の商法改正による委員会等設置会社の導入も、まだ十分に活用されるには至っていないが、企業統治形態の選択肢を増やした点では評価されるべきである。今後は、商法や有限会社法等を再編して制定される「会社法」の内容がひとつの焦点になるが、その際も、サーベンス=オクスリー法やドイツの1998年及び2000年株式法改正に見られるとおり、経営者に対する監督の強化を進めると同時に、組織編成等における選択の余地を拡大する必要がある²⁰。

一方、政府は、企業に対する規制とは別に、企業を取り巻くステークホルダーの地位確立に努める必要がある。前節でも述べたとおり、企業経営を監視し得るステークホルダーの存在は、米国における経営倫理の社会的基盤といえる。企業における経営倫理への取り組みが効果をあげるには、こうした社会的基盤の存在が前提となるだろう。

第三に、学界としては、関連分野との交流及びそれらの成果の活用をより積極的に推進する必要がある。リスクマネジメントや企業統治等、経営倫理の関連分野でも多くの有益な成果が生まれているが、これらを経営倫理というキーワードのもとに総合する作業は、依然として十分ではない。営利企業が「倫理」を要することに対して、ある種の抵抗感や誤解が存在する現状を勘案すれば、より具体的施策を入り口として、経営倫理の求めるゴールを提示すべきであろう²¹。

4. ステークホルダーとしての技術者—技術者倫理教育との接合を展望して—

以上、米国と日本を中心に、経営倫理の発展過程と現状について考察を進めてきたが、最後に、これら経営倫理の成果を技術者倫理教育に接合するための視点を提示したい。

技術者の多くが企業で働き、かつ技術者の生み出す製品やサービスが企業を通じて公衆に

提供される現状を勘案すれば、技術者倫理を技術者個人の問題に矮小化すべきではない。技術者は、自らを律するとともに、自らの倫理的行動を維持し得る環境を創出するための戦略策定や工学的なリスクマネジメントに積極的に取り組む必要がある。

同時に、こうした取り組みの実効性を高めるためには、専門職としての技術者集団が、企業に対するステークホルダーとしての地位を確立する必要がある。確かに、現状でも、労働組合が存在し、技術者もその一部を構成することは可能である。しかし、働く者の組合離れも然ることながら、多少厳しい言い方をすれば、労働組合の多くは、正社員に限定した賃上げ交渉以外では何ら実績を収めていない。日本における企業別労働組合は、企業のステークホルダーであることは否定しないが、企業に対するモニタリング機能を果たす可能性は低いと言わざるを得ない。

そのため、技術者が独自のステークホルダーとして地位を得るには、第一歩として、技術者自身の取り組みが必要である。企業内でも、職種別でも、通常の業務指揮系統から独立した枠組みで、技術者同士が意見交換を行い、視野を広める努力が何よりも重要である。確かに、工学系の学協会は存在するが、企業で働く技術者の多くが加入しているわけではない。また、学協会の多くは、倫理綱領等を策定し、会員に対して遵守を求めているが、学協会自体が、企業に対してモニタリング機能を果たせる場合は稀である。むしろ、企業で働く技術者自身が、交流と相互研鑽を重ね、こうした取り組みを学協会や政府が支援する枠組みを構築することが有効であろう。技術者が、企業に対するステークホルダーとしてモニタリングを行い、企業活動に対する過度の法規制や企業の自主性のみへの依存を回避しながら、経営倫理を社会的に向上させる取り組みも必要なのである²²。

同時に、技術者教育機関においても、技術者倫理教育の実効性を高めるには、技術者のステークホルダーとしての地位確立を支援すべく、広く社会に問題を提起すべきであろう。

¹ 技術者倫理と組織の関係の重要性については、以下を参照。拙稿、「日本における技術者倫理教育の射程—技術者と組織の関係を中心に—」、大阪大学21世紀COEプログラム「インターネットフェイスの人文科学」2002・2003年度報告書『岐路に立つ人文科学』、2003年、63—75頁、河村豊、川北晃司、浅野敬一、「技術者倫理教育に関わる現状分析とカリキュラム化への試み」、『東京工業高等専門学校研究報告書』、第35(2)号、2004年1月。また、大学や高専等における技術者倫理向けのテキストとしては、次のものが、特に技術者倫理と組織の關係に注意を払っている。『誇り高い技術者になろう—工学倫理ノススメ』、名古屋大学出版会、2004年。

² 富澤克美、「大量生産体制確立期アメリカにおける労働者統合の試み—私的福祉資本主義成立前史—」、『福島大学商学論集』、67巻1号、1998年7月。

³ マイケル・J・ピオリ／チャールズ・F・セーブル、『第二の産業分水嶺』、山之内靖他訳、筑摩書房、1993年〔原著1984年〕。

⁴ 水尾順一、『セルフ・ガバナンスの経営倫理』、千倉書房、2003年、23頁。また、ヤング等の実践は、1930年代の法学界に、会社所有の問題に対する論争を提起し、一部では、企業経営における機械的法規制の限界とこれを補う経営者の職業倫理の必要性が論じられた。角野信夫、「企業倫理と企業統治の展望と課題」、中村瑞穂編著、『企業倫理と企業統治—国際比較—』、文眞堂、2003年、180—190頁。

⁵ ホーレーは、こうした政治構造をブローカー国家と説明した。Ellis W. Hawley, *The New Deal and the Problem of Monopoly: A Study in Economic Ambivalence*, Princeton University Press, 1966, p.32.

⁶ さらに、1960年代になると、年金基金や投資信託等の機関投資家が、企業経営に対して強力なモニタリング機能を果たすようになる。

⁷ 紀平英作、『ニューディール政治秩序の形成過程の研究』、京都大学学術出版会、1993年、470頁。

⁸ Hawley, *The New Deal and the Problem of Monopoly*, pp.199-201.

⁹ 水尾、『セルフ・ガバナンスの経営倫理』、24頁。

¹⁰ 梅津光弘、「アメリカにおける企業倫理論」、

中村瑞穂編著、『企業倫理と企業統治』、13 頁、水尾、『セルフ・ガバナンスの経営倫理』、14、41 頁。

¹¹ Richard S. Combes, "Aircraft Manufacturing in Georgia: A Case Study of Federal Industrial Investment," in Philip Scranton ed., *The Second Wave Southern Industrialization from the 1940s to the 1970s*, University of Georgia Press, 2001, p.25.

¹² U.S. President's Blue Ribbon Commission on Defense Management, *A Quest for Excellence; Final Report to the President*, June 1986, p.xxviii, 76.

¹³ Lynn Sharp Paine, *Value Shift: Why Company Must Merge Social and Financial Imperatives to Achieve Superior Performance*, McGraw-Hill, 2003 は、経営倫理を企業経営の基盤として位置付けた代表的業績である。なお、梅津、「アメリカにおける企業倫理論」、21-23 頁も、本稿と同様の変化を指摘している。

¹⁴ 統治形態が多様な中小企業を中心とした閉鎖会社の場合は、経営に対するモニタリング機能のあり方はより複雑になる。この問題については、別稿を用意したい。

¹⁵ 財務省財務総合研究所、『進展するコーポレート・ガバナンス改革と日本企業の再生』、2003 年 6 月、4-6-2、4-6-3。

¹⁶ 水尾、『セルフ・ガバナンスの経営倫理』、77-78 頁。一方、一般向けビジネス雑誌等には、コンプライアンスの意義を正確に理解していないが、逆に制度が誤って運用された場合における従業員等の率直な感情を明らかにした記事も多い。

¹⁷ 企業の社会的責任への政府介入に対する反対は、以下で明確に表明されている。(社)日本経済団体連合会、意見書「企業の社会的責任(CSR)推進にあたっての基本的考え方」、2004 年 2 月 17 日。

¹⁸ 経済産業省経済産業政策局、「企業の社会的責任(CSR)に関する懇談会 第 1 回 議事要旨」及び「同 第 2 回 議事要旨」等。

¹⁹ 財務総合研究所、『進展するコーポレート・ガバナンス改革と日本企業の再生』、4-7。

²⁰ 江頭憲治郎、「「現代化」の基本方針」、『ジュリスト』、1267 号、2004 年 5 月 1 日・15 日、10 頁。

²¹ 例えば、以下の研究は、保険業における具体的リスクマネジメントを説得力のある形で経営倫理の問題に結び付けている。中林真理子、『リスクマネジメントと企業倫理—パーソナルハザードをめぐって—』、千倉書房、2003 年。

²² 例えば、前出の「企業の社会的責任に関する懇談会」でも、NGO 等、新たなステークホルダーの存在が、製品開発等を含めた企業経営に寄与している例が照会されている。経済産業省、「企業の社会的責任(CSR)に関する懇談会 第 2 回 議事要旨」。

(平成 16 年 6 月 18 日 受理)

ヒルベルト空間とその応用

拜 田 稔*

Hilbert Space and its Application

Minoru HAIDA

This report is a part of a lecture note prepared for students in a graduate course of our college. This lecture is proposed to introduce functional analysis. At first, we study fundamental theory of Hilbert space. Then, we apply it to solve a Dirichlet problem by using calculus of variations. We use [4] and [5] as textbooks. Refer to [6] for more advanced content.

(Keywords : Hilbert space, Calculus of variations)

1 ヒルベルト空間の基礎

定義 1.1 $\{\phi_n\}_n$ をヒルベルト空間 H の正規直交系とし, $(\cdot, \cdot)_H$ をその内積とする. 任意の $u \in H$ に対して,

$$u = \sum_n (u, \phi_n)_H \phi_n$$

という展開式が成り立つとき, $\{\phi_n\}_n$ を H の完全正規直交系という.

注意 1.2 可分なヒルベルト空間には, たかだか可算個の要素から成る完全正規直交系が存在することが知られている ([5],[7] を見よ).

定義 1.3 $\mathbf{R}^n$ 内の開集合 Ω 上の可測関数 $u(x)$ で,

$$\int_{\Omega} |u(x)|^p dx < \infty$$

をみたすものの全体の集合を $L^p(\Omega)$ と定義する. (積分はルベーグ積分とする.) ただし, Ω 上のほとんど至るところで等しい (零集合を除いて等しい) 2つの可測関数 u, v は同じものとみなす. つまり, 正確にいうと $L^p(\Omega)$ は同値類の集合である. また, $\Omega = (a, b)$ のときは, $L^p(\Omega) = L^p(a, b)$ と書くことにする. さらに, Ω 内の任意の有界閉集合上で $|u|^p$ が可積分な関数 $u(x)$ 全体の集合を $L^p_{loc}(\Omega)$ と書く. $u \in L^1_{loc}(\Omega)$ に対して $D_j u \in L^1_{loc}(\Omega)$ が存在して, 任意の $\phi \in C_0^\infty(\Omega)$ に対して

$$\int_{\Omega} u(x) \frac{\partial}{\partial x_j} \phi(x) dx = - \int_{\Omega} D_j u(x) \phi(x) dx$$

をみたすとき, $D_j u$ を u の x_j 方向の弱微分という. 任意の j ($j = 1, 2, \dots, n$) について $D_j u \in L^p(\Omega)$ であるような $u \in L^p(\Omega)$ 全体の集合をソボレフ空間といい, $W^{1,p}(\Omega)$ と書く. 特に, $W^{1,2}(\Omega)$ を $H^{1,2}(\Omega)$ と書く. さらに, $C_0^\infty(\Omega)$ の $W^{1,p}(\Omega)$ での閉包を, $W_0^{1,p}(\Omega)$ と書く. 特に, $W_0^{1,2}(\Omega)$ を $H_0^{1,2}(\Omega)$ と書く. $H_0^{1,2}(\Omega)$ は $H^{1,2}(\Omega)$ の閉部分空間である.

定義 1.3 で定めた $L^2(\Omega)$ は

$$(u, v) := \int_{\Omega} u(x) \overline{v(x)} dx$$

を内積とするヒルベルト空間であり, $H^{1,2}(\Omega)$ は

$$((u, v)) := \int_{\Omega} u(x) \overline{v(x)} dx + \sum_{k=1}^n \int_{\Omega} \frac{\partial u}{\partial x_k} \overline{\frac{\partial v}{\partial x_k}} dx$$

を内積とするヒルベルト空間である. 例えば, $L^2(-\pi, \pi)$ は

$$(u, v) = \int_{-\pi}^{\pi} u(x) \overline{v(x)} dx$$

を内積とするヒルベルト空間であり,

$$\left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi}}, \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cos n\theta, \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sin n\theta \right\}_{n \in \mathbf{N}}$$

は $L^2(-\pi, \pi)$ の完全正規直交系であることが知られている. よって,

$$a_n := \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\theta) \cos n\theta d\theta, \quad b_n := \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\theta) \sin n\theta d\theta$$

とおくと, 任意の $f(x) \in L^2(-\pi, \pi)$ は,

$$\begin{aligned} f(x) &= \left(f(x), \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(f(x), \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cos nx \right) \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cos nx \\ &\quad + \sum_{n=1}^{\infty} \left(f(x), \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sin nx \right) \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sin nx \\ &= \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos nx + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin nx \end{aligned}$$

と表せる. これが $f(x)$ のフーリエ展開であり, a_n, b_n はフーリエ係数である.

さて, 量子力学では, 物質の状態は波動関数 $\psi(x)$ によって表される. $\psi(x)$ は $L^2(\mathbf{R}^3)$ の要素である. $L^2(\mathbf{R}^3)$ は可分であり ([1] を見よ), 可算個の要素から成る完全正規直交系をもつことが知られているので, それを $\{\phi_n\}_{n \in \mathbf{N}}$ とおくと,

$$\psi = \sum_{n=1}^{\infty} (\psi, \phi_n) \phi_n$$

と表すことができる.

ところで, 宇宙空間は少なくとも当分の間は, $\mathbf{R}^3$ 内のある十分大きな半径 R の球に包含されていると仮定してよいであろう. いま, その球を B とおき, ディリクレ問題

$$-\Delta u = \lambda u \quad \text{in } B, \quad u = 0 \quad \text{on } \partial B$$

を考える. これを満たす 0 以外の関数 $u \in H_0^{1,2}(B)$ を, 固有値 λ に対応する固有関数と言う. 固有値は小さい順に $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ とおくことができ,

$$0 < \lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \lambda_3 \leq \dots \rightarrow +\infty$$

となり, 異なる固有値に対応する固有関数は直交することが知られている. ここで, 固有値は対応する固有空間の次元の数だけ重複して書いてある. 各固有空間に正規直交基をとることにして, 各 λ_k に対応する固有関数を u_k とおくと, $\{u_n\}_{n \in \mathbf{N}}$ は $L^2(B)$ の完全正規直交系を成すことが知られている ([8] を見よ). したがって, 波動関数 $\psi(x)$ は

$$\psi = \sum_{n=1}^{\infty} (\psi, u_n) u_n$$

と表すこともできる.

定義 1.4 ノルム空間 M 内の点列 $\{u_n\}$ と $u \in M$ が存在して, M で定義された任意の有界線形汎関数 f (つまり $f: H \rightarrow \mathbf{C}$ (または $\mathbf{R}$) は線形で,

$$\sup_{M \ni x \neq 0} \frac{|f(x)|}{\|x\|_M} < \infty \quad (\text{ただし } \|\cdot\|_M \text{ は } M \text{ のノルム})$$

) に対して, $f(u_n) \rightarrow f(u)$ ($n \rightarrow \infty$) が成り立つとき, 点列 $\{u_n\}$ は u に弱収束するといいい, $u_n \rightharpoonup u$ ($n \rightarrow \infty$) と書く.

定理 1.5 (射影定理) M をヒルベルト空間 H の閉部分空間とする. 任意の $u \in H$ は,

$$u = x + y \quad (x \in M, \quad y \in M^\perp := \{v \in H; (v, w)_H = 0 \text{ for } \forall w \in M\}) \quad (1.1)$$

と, ただ一通りの書き方ができる. ($M^\perp$ を M の直交補空間という.)

証明 点列 $\{v_n\}_{n \in \mathbf{N}} \subset M$ を,

$$\|u - v_n\|_H \rightarrow d := \inf_{v \in M} \|u - v\|_H \quad (n \rightarrow \infty)$$

となるようにとる. 中線定理より,

$$2(\|u - v_m\|_H^2 + \|u - v_n\|_H^2) = \|(u - v_m) + (u - v_n)\|_H^2 + \|(u - v_m) - (u - v_n)\|_H^2$$

よって, $\frac{v_m + v_n}{2} \in M$ を考慮すると,

$$\begin{aligned} \|v_m - v_n\|_H^2 &= 2(\|u - v_m\|_H^2 + \|u - v_n\|_H^2) - 4\left\|u - \frac{v_m + v_n}{2}\right\|_H^2 \\ &\leq 2(\|u - v_m\|_H^2 + \|u - v_n\|_H^2) - 4d^2 \rightarrow 0 \quad (m, n \rightarrow \infty). \end{aligned}$$

したがって, $\{v_n\}_{n \in \mathbf{N}}$ はコーシー列だから, ある極限 x に収束する. M は閉集合だから $x \in M$ であり, $\|u - x\|_H = d$ である. ここで, $u - x = y$ とおき, $y \in M^\perp$ を示す. そこで, 任意の $v \in M$, $\lambda \in \mathbf{R}$ をとると, $x + \lambda v \in M$, $\|y\|_H = d$ だから,

$$d^2 \leq \|u - (x + \lambda v)\|_H^2 = \|y - \lambda v\|_H^2 = d^2 - 2\lambda \operatorname{Re}(y, v)_H + \lambda^2 \|v\|_H^2$$

よって, $\operatorname{Re}(y, v)_H = 0$. 同様に, v を iv におきかえることにより, $\operatorname{Re}(y, iv)_H = \operatorname{Im}(y, v)_H = 0$ を得る. したがって, $(y, v)_H = 0$ であるから, $y \in M^\perp$.

最後に, もし $u = x_1 + y_1 = x_2 + y_2$ ($x_1, x_2 \in M$, $y_1, y_2 \in M^\perp$) と書けたとすると, $x_1 - x_2 = y_2 - y_1 \in M \cap M^\perp = \{0\}$ であるから, $x_1 = x_2$, $y_1 = y_2$ を得る. よって, (1.1) の表し方はただ一通りである. $\square$

定理 1.6 (リースの表現定理) f をヒルベルト空間 H 上の有界線形汎関数とすると、 $u, v \in H$ がただ 1 つずつ存在して、任意の $x \in H$ に対して $f(x) = (x, u)_H = (v, x)_H$ が成り立つ。

証明 $f = 0$ のときは $u = 0$ ととればよいから、 $f \neq 0$ のときを考える。 $N := \{x \in H; f(x) = 0\}$ とおくと N は閉集合だから、定理 1.5 より、 $z \in N^\perp$ ($z \neq 0$) が存在して、任意の $x \in N$ に対して $(x, z)_H = 0$ 。特に、 $f(z) \neq 0$ であり、任意の $x \in H$ に対して $w = x - \frac{f(x)}{f(z)}z$ とおくと、 f の線形性より $f(w) = 0$ 。よって、 $w \in N$ だから、 $(w, z)_H = 0$ 。したがって、 $(x, z)_H = \frac{f(x)}{f(z)}\|z\|_H^2$ を得る。ゆえに、 $u = \frac{\overline{f(z)}}{\|z\|_H^2}z$ とおくと、 $f(x) = (x, u)_H$ 。最後に、任意の $x \in H$ に対して $f(x) = (x, u_1)_H = (x, u_2)_H$ が成り立つような $u_1, u_2 \in H$ が存在したとすると、 $(x, u_1 - u_2)_H = 0$ が任意の $x \in H$ に対して成り立つから、特に $x = u_1 - u_2$ ととると、 $(u_1 - u_2, u_1 - u_2)_H = 0$ 。よって $u_1 = u_2$ を得る。定理で主張されている $v \in H$ の存在と一意性についても同様に示せる。□

定理 1.7 ヒルベルト空間 H 内の任意の有界列 $\{u_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ は、弱収束する部分列を持つ。

証明 $\|u_n\|_H \leq M$ ($n = 1, 2, \dots$) とする。 $m \in \mathbb{N}$ を固定したとき、 $|(u_n, u_m)_H|$ は n について有界だから、 $\{(u_n, u_m)_H\}_{n \in \mathbb{N}}$ は収束部分列をもつ。よって、カントールの対角線論法により、 $\{u_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ の部分列 $\{u_{n_k}\}_{k \in \mathbb{N}}$ が存在して、すべての $m \in \mathbb{N}$ で $\{(u_{n_k}, u_m)_H\}_{k \in \mathbb{N}}$ は $k \rightarrow \infty$ のときに収束する。よって、 $\{u_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ の張る H の線形部分空間を S とすると、任意の $x \in S$ に対して $\{(u_{n_k}, x)_H\}_{k \in \mathbb{N}}$ は $k \rightarrow \infty$ のときに収束する。さらに、任意の $y \in \overline{S}$ と $\epsilon > 0$ に対して、 $z \in S$ を $\|z - y\|_H < \frac{\epsilon}{4M}$ となるようにとると、シュワルツの不等式より、

$$\begin{aligned} |(u_{n_j} - u_{n_k}, y)_H| &\leq |(u_{n_j}, y - z)_H| + |(u_{n_j} - u_{n_k}, z)_H| + |(u_{n_k}, z - y)_H| \\ &\leq 2M\|z - y\|_H + |(u_{n_j} - u_{n_k}, z)_H| \\ &\leq \frac{\epsilon}{2} + |(u_{n_j} - u_{n_k}, z)_H|. \end{aligned}$$

$j, k \rightarrow \infty$ のとき $|(u_{n_j} - u_{n_k}, z)_H| \rightarrow 0$ だから、 $\{(u_{n_k}, y)_H\}_{k \in \mathbb{N}}$ はコーシー列である。そこで、その極限値を

$$f(y) := \lim_{k \rightarrow \infty} (u_{n_k}, y)_H$$

とおくと、 $\|u_n\|_H \leq M$ ($n = 1, 2, \dots$) より、 f は $\overline{S}$ 上の有界線形汎関数である。よって、定理 1.6 より、ある $u \in \overline{S}$ が存在して、任意の $w \in \overline{S}$ に対して、 $f(w) = (u, w)_H$ が成り立つ。ところで、定理 1.5 より、任意の $v \in H$ は $v = v_1 + v_2$ ($v_1 \in \overline{S}, v_2 \in \overline{S}^\perp$) と書け、任意の $n \in \mathbb{N}$ について $(u_n, v_2)_H = 0$ であるから、

$$\lim_{k \rightarrow \infty} (u_{n_k}, v)_H = \lim_{k \rightarrow \infty} (u_{n_k}, v_1)_H = f(v_1) = (u, v_1)_H = (u, v)_H.$$

定理 1.6 より、これは $\{u_{n_k}\}_{k \in \mathbb{N}}$ が u に弱収束することを示している。□

定理 1.8 ヒルベルト空間 H 内の任意の弱収束列 $\{u_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ は、有界である。

証明 有界線形汎関数 $f_n(x) := (u_n, x)_H$ のノルム

$$\|f_n\| := \sup_{x \in H, \|x\|_H \leq 1} |f_n(x)| \left(\geq \left| f_n \left(\frac{u_n}{\|u_n\|_H} \right) \right| = \|u_n\|_H \right)$$

が一樣に有界であることを示せばよい. 仮に, $x_0 \in H$ とある実数 $r, K > 0$ が存在して, $|f_n(x)|$ が $B_r(x_0) := \{x \in H; \|x - x_0\|_H \leq r\}$ の上で $n \in \mathbf{N}$ について一樣に K 以下であることが示せれば, $f_n(x)$ の線形性より, 任意の $x \in B_1(0)$ ($x \neq x_0$) について,

$$\begin{aligned} \left| \frac{r}{\|x - x_0\|_H} f_n(x - x_0) \right| &= \left| f_n \left(x_0 + \frac{r}{\|x - x_0\|_H} (x - x_0) \right) - f_n(x_0) \right| \\ &\leq \left| f_n \left(x_0 + \frac{r}{\|x - x_0\|_H} (x - x_0) \right) \right| + |f_n(x_0)| \leq K + K. \end{aligned}$$

よって, 任意の $x \in B_1(0)$ について,

$$\begin{aligned} |f_n(x)| &\leq |f_n(x - x_0)| + |f_n(x_0)| \leq \frac{\|x - x_0\|_H}{r} \cdot 2K + K \\ &\leq \frac{\|x\|_H + \|x_0\|_H}{r} \cdot 2K + K \leq \frac{1 + \|x_0\|_H}{r} \cdot 2K + K < \infty \end{aligned}$$

であるから証明が終わる. そこで, これが成り立たないと仮定する. このとき, $f_n(x)$ の連続性より, 点列 $\{x_k\}_{k \in \mathbf{N}} \subset H$, $\{r_k\}_{k \in \mathbf{N}} \subset \mathbf{R}$ で, $B_{r_{k+1}}(x_{k+1}) \subset B_{r_k}(x_k)$, $0 < r_k \rightarrow 0$ ($k \rightarrow \infty$) をみたすものと, $\{u_n\}_{n \in \mathbf{N}}$ の部分列 $\{u_{n_k}\}_{k \in \mathbf{N}}$ が存在して, 任意の $x \in B_{r_k}(x_k)$ に対して $|f_{n_k}(x)| > k$ をみたす. ここで, $\{x_k\}_{k \in \mathbf{N}}$ はコーシー列だから, ある点 $x_0 \in H$ に収束する. この点 x_0 はすべての $B_{r_k}(x_k)$ に含まれるから, すべての $k \in \mathbf{N}$ について $f_{n_k}(x_0) > k$. これは, $\{u_n\}_{n \in \mathbf{N}}$ が弱収束列であることに矛盾する. $\square$

定理 1.9 (バナッハ・サックスの定理) ヒルベルト空間 H 内の点列 $\{u_n\}_{n \in \mathbf{N}}$ が $u \in H$ に弱収束するならば, 部分列 $\{u_{n_j}\}_{j \in \mathbf{N}}$ が存在して,

$$\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u_{n_j} \rightarrow u \quad (N \rightarrow \infty). \quad (1.2)$$

証明 $v_n := u_n - u$ とおくと, v_n は 0 に弱収束する. さらに, 定理 1.8 より, ある定数 $K > 0$ が存在して, すべての $n \in \mathbf{N}$ について $\|v_n\|_H < K$. ここで, $\{v_n\}_{n \in \mathbf{N}}$ の部分列 $\{v_{n_j}\}_{j \in \mathbf{N}}$ を, まず $v_{n_1} := v_1$ とし, v_{n_k} ($k = 2, 3, \dots$) については

$$|(v_{n_i}, v_{n_k})_H| < \frac{1}{k} \quad (i = 1, 2, \dots, k-1)$$

となるようにとっていく. このとき,

$$\begin{aligned} \left\| \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N v_{n_j} \right\|_H^2 &= \frac{1}{N^2} \sum_{j,k=1}^N (v_{n_j}, v_{n_k})_H \\ &= \frac{1}{N^2} \sum_{k=1}^N \left[(v_{n_k}, v_{n_k})_H + \sum_{j=1}^{k-1} \{ (v_{n_j}, v_{n_k})_H + (v_{n_k}, v_{n_j})_H \} \right] \\ &= \frac{1}{N^2} \sum_{k=1}^N \left\{ (v_{n_k}, v_{n_k})_H + 2 \sum_{j=1}^{k-1} \operatorname{Re}(v_{n_j}, v_{n_k})_H \right\} \leq \frac{1}{N^2} \left\{ NK^2 + \sum_{k=1}^N 2(k-1) \frac{1}{k} \right\} \\ &\leq \frac{1}{N^2} (NK^2 + 2N) = \frac{1}{N} (K^2 + 2) \rightarrow 0 \quad (N \rightarrow \infty). \end{aligned}$$

よって, (1.2) が示されたことになる. $\square$

定理 1.10 ヒルベルト空間 H の閉凸部分集合 A 内の点列 $\{u_n\}_{n \in \mathbf{N}}$ が $u \in H$ に弱収束するとき, $u \in A$ である.

証明 定理 1.9 より, 部分列 $\{u_{n_j}\}_{j \in \mathbf{N}}$ が存在して,

$$U_N := \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u_{n_j} \rightarrow u \quad (N \rightarrow \infty).$$

A は凸集合だから $U_N \in A$. さらに, A は閉集合だから $u \in A$. $\square$

2 ディリクレ問題と変分法

Ω は $\mathbf{R}^n$ ($n \geq 2$) 内の有界領域で, 滑らかな境界 $\partial\Omega$ をもつとする. また, $f \in H^{1,2}(\Omega)$ とする. このとき, ディリクレ問題

$$\Delta u = 0 \quad \text{in } \Omega, \quad u = f \quad \text{on } \partial\Omega \quad (\text{ただし, } u - f \in H_0^{1,2}(\Omega) \text{ の意味で.}) \quad (2.1)$$

を考えることにより, 変分法の紹介をしたい.

定義 2.1 $u \in H^{1,2}(\Omega)$ がディリクレ問題 (2.1) の弱解 (weak solution) であるとは, $u - f \in H_0^{1,2}(\Omega)$ かつ, 任意の $\phi \in C_0^\infty(\Omega)$ に対して

$$\int_{\Omega} \nabla u \cdot \nabla \phi \, dx = 0$$

が成り立つときをいう.

定義 2.2

$$\begin{aligned} D[u] &:= \frac{1}{2} \int_{\Omega} |\nabla u|^2 \, dx \quad \text{for } u \in H^{1,2}(\Omega), \\ S_0 &:= \left\{ u \in H^{1,2}(\Omega); \quad u - f \in H_0^{1,2}(\Omega) \right\}. \end{aligned}$$

補題 2.3 (ポアンカレの不等式) ある定数 $C > 0$ が存在して, 任意の $u \in H_0^{1,2}(\Omega)$ に対して

$$\int_{\Omega} u^2 \, dx \leq C \int_{\Omega} |\nabla u|^2 \, dx \quad (2.2)$$

が成り立つ.

証明 $C_0^\infty(\Omega)$ は $H_0^{1,2}(\Omega)$ の稠密な部分集合だから, $H^{1,2}(\Omega)$ 内で u に収束する点列 $\{\phi_n\}_{n \in \mathbf{N}} \subset C_0^\infty(\Omega)$ が存在する. よって, 任意の $u \in C_0^\infty(\Omega)$ に対して (2.2) をみたとすような定数 $C > 0$ が存在することを示せば十分である. なぜならば, そのとき

$$\int_{\Omega} \phi_n^2 \, dx \leq C \int_{\Omega} |\nabla \phi_n|^2 \, dx$$

が成り立つから, $n \rightarrow \infty$ とすれば (2.2) が得られる. そこで $u \in C_0^\infty(\Omega)$ とする. ところで, Ω は有界領域であるから, ある実数 a, b が存在して, $\Omega \subset \{x = (x_1, x_2, \dots, x_n); a < x_1 < b\}$. よって, シュワルツの不等式より, 任意の $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \Omega$ について,

$$\begin{aligned} u(x)^2 &= \left(\int_a^{x_1} u_{x_1}(t, x_2, \dots, x_n) dt \right)^2 \\ &\leq (x_1 - a) \int_a^{x_1} u_{x_1}^2(t, x_2, \dots, x_n) dt \\ &\leq (x_1 - a) \int_a^b u_{x_1}^2(t, x_2, \dots, x_n) dt. \end{aligned}$$

u は Ω の外では 0 であるから, この不等式を Ω 上で積分すると,

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} u^2 dx &\leq \int_a^b (x_1 - a) dx_1 \int_{\Omega} u_{x_1}^2(t, x_2, \dots, x_n) dt dx_2 \cdots dx_n \\ &\leq \frac{1}{2}(b - a)^2 \int_{\Omega} |\nabla u|^2 dx. \quad \square \end{aligned}$$

定理 2.4 (2.1) はただ一つの弱解をもつ. その弱解を u とすると,

$$D[u] = \min_{v \in S_0} D[v].$$

証明 まず弱解の一意性を示す. 仮に (2.1) が 2 つの弱解 u_1, u_2 をもつとし, $u := u_1 - u_2$ とおくと, $u = (u_1 - f) - (u_2 - f) \in H_0^{1,2}(\Omega)$ かつ, 任意の $\phi \in C_0^\infty(\Omega)$ に対して

$$\int_{\Omega} \nabla u \cdot \nabla \phi dx = \int_{\Omega} \nabla u_1 \cdot \nabla \phi dx - \int_{\Omega} \nabla u_2 \cdot \nabla \phi dx = 0$$

が成り立つ. $C_0^\infty(\Omega)$ は $H_0^{1,2}(\Omega)$ の稠密な部分集合だから, $H^{1,2}(\Omega)$ 内で u に収束する点列 $\{\phi_n\}_{n \in \mathbb{N}} \subset C_0^\infty(\Omega)$ が存在する. このとき,

$$\int_{\Omega} |\nabla u|^2 dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \int_{\Omega} \nabla u \cdot \nabla \phi_n dx = 0.$$

よって, 補題 2.3 より, ある定数 $C > 0$ が存在して,

$$\int_{\Omega} u^2 dx \leq C \int_{\Omega} |\nabla u|^2 dx = 0, \quad \text{すなわち} \quad \int_{\Omega} u^2 dx = 0.$$

ゆえに, $u = 0$, すなわち $u_1 = u_2$ を得る. これで弱解の一意性が示せた.

次に, 弱解の存在を示す. まず,

$$D[u_n] \rightarrow \alpha_0 := \inf_{v \in S_0} D[v] \quad (n \rightarrow \infty) \quad (2.3)$$

をみたす S_0 内の列 $\{u_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ をとり, $\phi_n := u_n - f$ とおく. 補題 2.3 より, 定数 $C > 0$ が存在して,

$$\|\phi_n\|_{L^2(\Omega)} \leq C \|\nabla \phi_n\|_{L^2(\Omega)} \leq C(\|\nabla u_n\|_{L^2(\Omega)} + \|\nabla f\|_{L^2(\Omega)}) \quad (2.4)$$

(2.3), (2.4) より, $\{\phi_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ は $H_0^{1,2}(\Omega)$ 内の有界列である. よって, 定理 1.7, 1.10 より, 必要があれば部分列にとりかえることにより, ある $\phi \in H_0^{1,2}(\Omega)$ が存在して, $\{\phi_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ は ϕ に弱収束するとしてよい. ここで, $u := f + \phi$ とおくと,

$$0 \leq \frac{1}{2} \int_{\Omega} \nabla(u - u_n) \cdot \nabla(u - u_n) dx = D[u] - \int_{\Omega} \nabla u \cdot \nabla u_n dx + D[u_n]. \quad (2.5)$$

ところで, $\{u_n\}_{n \in \mathbf{N}}$ は u に弱収束するから,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int_{\Omega} \nabla u \cdot \nabla u_n \, dx = 2D[u].$$

よって, (2.3), (2.5) より

$$D[u] \leq \liminf_{n \rightarrow \infty} D[u_n] = \alpha_0.$$

一方, $u \in S_0$ より $D[u] \geq \alpha_0$. したがって, $D[u] = \alpha_0$. ゆえに,

$$D[u] = \min_{v \in S_0} D[v].$$

ところで, 任意の $t \in \mathbf{R}$, $\psi \in C_0^\infty(\Omega)$ について, $u + t\psi \in S_0$ であるから,

$$D[u] \leq D[u + t\psi] = D[u] + t \int_{\Omega} \nabla u \cdot \nabla \psi \, dx + \frac{t^2}{2} \int_{\Omega} |\nabla \psi|^2 \, dx.$$

これが任意の実数 t について成り立つから,

$$\int_{\Omega} \nabla u \cdot \nabla \psi \, dx = 0$$

でなければならない. ψ は $C_0^\infty(\Omega)$ 内の任意の関数だから, u は (2.1) の弱解である. $\square$

定理 2.5 もし $\partial\Omega$ が C^∞ 級であり, $f \in C^\infty(\overline{\Omega})$ ならば, 定理 2.4 で得られた弱解 u は古典解であり, $u \in C^\infty(\overline{\Omega})$ をみたす. (証明は, [2, Theorem 8.14], [4, 定理 23.15] などを見よ.)

注意 2.6 もし $f \in C^{2,\alpha}(\overline{\Omega})$ ならば, 定理 2.4 で得られた弱解 u は [3, 定理 1] より得られる古典解であり, $u \in C^{2,\alpha}(\overline{\Omega})$ をみたす.

参考文献

- [1] H.Brezis (小西芳雄・藤田宏訳), 関数解析, 産業図書 (1988).
- [2] D.Gilbarg and N.S.Trudinger, Elliptic Partial Differential Equations of Second Order, Second Edition (Revised Third Printing), Springer, Berlin-Heidelberg-New York-Barcelona-Budapest- Hong Kong-London-Milan-Paris-Santa Clara-Singapore-Tokyo (1998).
- [3] 拜田 稔, 2階楕円型微分方程式の境界値問題の解の存在定理, 東京工業高等専門学校研究報告書 34(1) (2002), 45-51.
- [4] J.Jost (小谷元子訳), ポストモダン解析学, シュプリンガー・フェアラーク東京 (2000).
- [5] 黒田成俊, 関数解析, 共立出版 (1980).
- [6] 増田 久弥, 非線型数学, 朝倉書店 (1985).
- [7] 増田 久弥, 関数解析, 裳華房 (1994).
- [8] 溝畑 茂, 偏微分方程式論, 岩波書店 (1965).

(平成 16 年 5 月 6 日受理)

電流遮断法による 電極系応答の理論的考察

柚 賀 正 光*

Theoretical examination of response potential
on electrodes by current interruption.

Masamitsu YUGA

In this paper, dependence of electrolyte temperature and current density on anodic oxidation growth process was calculated by galvanostatic electrolysis. In this case, transient phenomena of electrode voltage of the cell was analyzed by interrupting current for a short time to examine the growth process, from this analysis, the kinetic parameter of the anodic oxidation is calculated.

Current interruption was used to measure silicon dioxide layer capacitance and Si activation energy of anodic oxidation. The most suitable equivalent circuit model for the anodized cell was also used for the analysis. When the current between the Si wafer anode and Pt cathode was interrupted for 5 ms on galvanostatic electrolysis, it supposed that the transient phenomena of voltage waveforms, from which short-term anodic oxidation, were observed by a oscilloscope.

It could get that activation energy for anodic oxidation changed at 45~50°C as a calculation result. As the peculiarity of activation energy for Si at 45°C becomes clear in the actual experiment. The cause that an abnormal behavior happens is thought to be in the universality of the electrodes response. On the other side, a current interruption measurement for amorphous silicon showed that the activation energy was constant from room temperature to 70°C. The abnormal behavior in the anodic oxidation at 45°C may be influenced by the crystallinity of electrodes.

(Keywords ; anodic oxidized films, current interruption, voltage decay waveform)

1. はじめに

一般に電極反応が生じるとき、アノード側からイオンが溶け出しカソード側に析出する。しかし、電極系の種類と条件によっては、アノード側に酸化膜が成長する場合がある。電池では、この酸化膜が不働体皮膜となり、円滑な電流の流れを損なう原因になる。しかし、シリコンなどの半導体では逆に生成した皮膜が絶縁体であるため、素子作製において不可欠な存在になっている。陽極酸化膜は有効利用の良い例である。

このように、電極反応は電流密度や温度などの

外部条件により複雑に変化するが、電解途中においては、試料は電解液中にあるため、どのような反応が生じているかは、取り出して測定しなければならない。しかし、いったん取り出すと反応は停止するので、反応中の挙動は知ることができない。電流遮断法は、このような矛盾を解決し、反応途中の状態を考察するために考え出された方法⁽¹⁾である。

電流遮断法の原理を簡単に述べる。アノード側に生成した膜は良質な絶縁物であり、一種のコンデンサと等価になる。電極反応を解析するとき、反応の電流を微少時間遮断すると、コンデンサの過渡応答

のため電圧は緩やかに減少する。遮断時間を短くすれば、反応に影響しないと考える。こうした酸化膜の成長状態を反映した電圧の減衰状態を観測すると、反応途中にある酸化膜の容量や、反応に必要な活性化エネルギーを算出することができる。この解析はカソード側の反応にも適用され、多くの研究結果があり、アノードおよびカソード反応において、共通した特性が報告⁽²⁾されている。

本報告では、シリコン電極の陽極酸化膜に、電流遮断法を適用して得たデータを利用して、温度特性の特異性が生じる原因を検討しながら、理論的に数値解析をした。その上で、一般の電極反応に電流遮断法適用したとき、こうした温度特性の原因が普遍的なものなのか検討した。

2. 理論

電解液に浸した電極表面上の反応種の濃度と電極付近の電解液中の濃度が平衡になっている場合、アノード電流とカソード電流が等しく方向は逆なので、外部的に電極反応電流 i_f はゼロになる。これを平衡状態とよび、反応は見かけ上停止している。このときの電極電位が平衡電位になる。電極電位の平衡電位からのずれを η [V] とする。平衡状態において $\eta=0$ である。平衡状態の場合、アノード電流を正の方向にとれば、 i_f は式(1) のようになる⁽³⁾。ここに、第1項はアノード電流、第2項はカソード電流である。

$$i_f = i_0 \{ \exp(\alpha n F \eta / RT) - \exp((\alpha - 1) n F \eta / RT) \} \quad (1)$$

ここで

i_0	交換電流密度 [Acm^{-2}]
α	移動係数 [-]
n	反応電子数 [-]
F	ファラデー定数 96486.7 [$\text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$]
R	気体定数 8.314 [$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
T	絶対温度 [K]

である。

アノード反応が進行し $\eta > 0$ となると、(カソード反応では $\eta < 0$) アノード電流が指数関数的に増加する。したがって、式(1)第2項のカソード電流が無

視でき、 i_f は、つぎのようになる。

$$i_f = i_0 \exp(\alpha n F \eta / RT) \quad (2)$$

交換電流密度 i_0 は、式(2)において $\eta=0$ のときの値で、反応が平衡状態にある場合のアノード電流である。

$t=0$ において電解時の電流を微少時間遮断すると、電流は Fig.1 中央部のように ON と OFF が矩形波となり、OFF 期間で反応は停止するが、Fig.1 上部の等価回路中の酸化膜 C_d [Fcm^{-2}] に蓄積されている電荷により、図中左電解液側に対して、図中右電極側が正となる方向に η が生じる。ここに R_e [Ω] は酸化膜の抵抗、 R_r [Ω] は電解液の抵抗を意味する。時間が経過すると蓄積されていた電荷は R_e を通して放電するので、Fig.1 下部のように η は時間とともに減衰する。

電流遮断後の電位の減衰は、

$$-d\eta/dt = i_f / C_d \quad (3)$$

となるので、減衰の状態は、上式に式(2) i_f を代入して、つぎの微分方程式を解くことにより得られる。

$$-i_0 \exp(\alpha n F \eta / RT) = C_d (d\eta / dt) \quad (4)$$

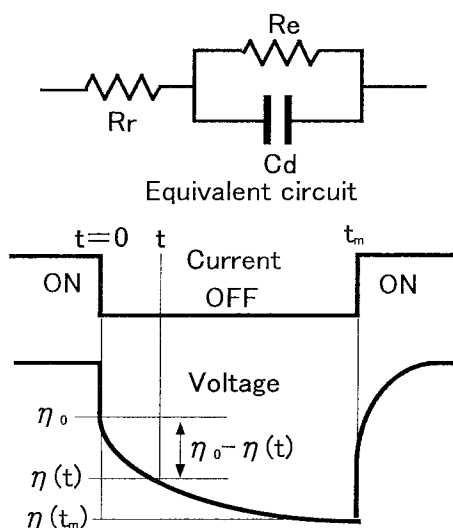


Fig.1 Input current and output voltage waveforms.

$t=0$ における η を η_0 とすると、つぎのようになる。

$$-\int_{\eta_0}^{\eta(t)} \exp(-\alpha n F \eta / RT) d\eta = (i_0 / C_d) \int_0^t dt \quad (5)$$

積分を実行すると、

$$(RT / \alpha n F) \{ \exp(-\alpha n F \eta(t) / RT) - \exp(-\alpha n F \eta_0 / RT) \} = (i_0 / C_d) t \quad (6)$$

となる。したがって、

$$\exp(-\alpha n F \eta(t) / RT) = \exp(-\alpha n F \eta_0 / RT) + (\alpha n F / RT) (i_0 / C_d) t \quad (7)$$

となる。上式の両辺に $\exp(\alpha n F \eta_0 / RT)$ をかけると、

$$\exp\{ \alpha n F (\eta_0 - \eta(t)) / RT \} = 1 + (\alpha n F / RT) (i_0 / C_d) t \exp(\alpha n F \eta_0 / RT) \quad (8)$$

となり、両辺の対数を取り整理すると、つぎのようになる。

$$\eta_0 - \eta(t) = (RT / \alpha n F) \ln \{ 1 + (\alpha n F / RT) (i_0 / C_d) t \exp(\alpha n F \eta_0 / RT) \} \quad (9)$$

ここで、 $i_0 \exp(\alpha n F \eta_0 / RT) = i_{00}$ とおくと、

$$\eta_0 - \eta(t) = (RT / \alpha n F) \ln \{ 1 + (\alpha n F / RT) (i_{00} / C_d) t \} \quad (10)$$

となり、式(10)が一般的な電解反応に対して、ステップ入力信号を加えた場合、電流遮断期間の電圧の減衰を表す式になる。

3. 解析結果および考察

3.1 電圧減衰特性

Fig.2 は、25°C、10mAcm⁻² の場合にオシロスコープ上に出力される電極間電圧の計算結果である。

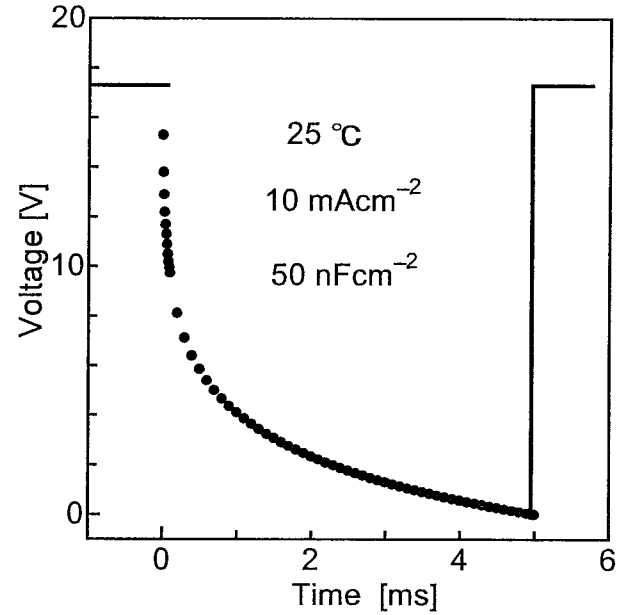


Fig.2 The calculation of voltage decay waveform.

酸化膜容量は、Si 陽極と Pt 陰極間で定電流電解したとき、電流遮断法を適用して実験により得られる値として、 $\alpha n = 0.01$ 、 $C_d = 50 \text{ nFcm}^{-2}$ (4)を用いた。電流遮断直後に液抵抗分の電圧降下が見られ、その後電圧は減少していく。電流遮断時間は5msであり、ほぼ電圧が減衰し終わることがわかる。

式(10)において、電流遮断後、充分時間 t が経過すると、 $(\alpha n F / RT) (i_{00} / C_d) t \gg 1$ となるので、式(10)は、 $B = RT / \alpha n F$ (定数) とおくと、

$$\eta_0 - \eta(t) = B \ln(i_{00} / B C_d) + B \ln(t) \quad (11)$$

と近似できる。

したがって、 $\eta_0 - \eta(t)$ と t の対数は直線関係になる。Fig.3 は、電流密度を変化させて示した図である。一般に電流密度が大きいと電圧の初期値が大きいので、減衰分を正にとったグラフでは増加する。遮断開始直後では、1 が無視できないので直線性を満たさない。 $\eta_0 - \eta(t)$ と $\ln(t)$ の直線の傾き B から、反応の速度論的パラメータ αn を求めることができる。

Fig.3 において、 $\eta_0 - \eta(t)$ をゼロに外挿して得られる時間を t_d とすると、 $i_{00} t_d / B C_d = 1$ となるので、逆に C_d の値を見積もることができる。

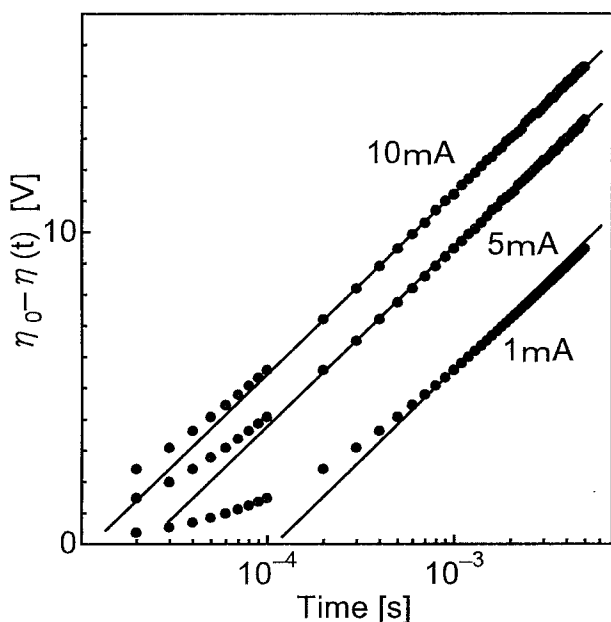


Fig.3 $\eta_0 - \eta(t)$ as a function of time for various choices of current densities at 25°C.

3.2 活性化エネルギー

電極系の温度が変化すると電極反応の平衡状態が遷移し交換電流密度 i_0 の値が変化する。 i_0 の値から、電極反応の活性化エネルギー E_0 を求めることができる。

通電を開始する直前の時間つまり電流遮断時間を、Fig.1 に示すように t_m とする。 $t=t_m$ (一定) において η が充分減衰し平衡電位にほぼ近いと仮定する。

式(10)に $t=t_m$ を代入し、 i_0 の値を変化させる。通電を開始する直前の $\eta_0 - \eta(t_m)$ と i_0 の関係は、

$$\eta_0 - \eta(t_m) = (RT/\alpha nF) \ln \{ 1 + (\alpha nF/RT)(i_0/C_d)t_m \} \quad (12)$$

となる。 $B = RT/\alpha nF$ (定数) とおき、 $(\alpha nF/RT)(i_0/C_d)t \gg 1$ となる領域において、

$$\eta_0 - \eta(t_m) = B \ln(t_m/B C_d) + B \ln(i_0) \quad (13)$$

となり、 i_0 を変えて測定すると、 $\eta_0 - \eta(t_m)$ と $\ln(i_0)$ の関係は、傾き B の直線になる。 i_0 が小さくなると、 $\eta_0 - \eta(t_m)$ も小さくなる。このとき、1が無視できないので直線関係は満たさなくなるが、 $\eta_0 - \eta(t_m)$ をゼロに外挿して得られる電流 i_0 、つまり、

$$i_0 = i_0 \exp(\alpha nF \eta_0 / RT) \quad (14)$$

の値は、 $\eta(t_m) \doteq 0$ と見なせば $\eta_0 = 0$ のときの値となるので、交換電流密度 i_0 となる。 i_0 は、反応が平衡状態にある場合のアノード電流であり直接測定はできないが、このように外挿によってのみ求めることができる。

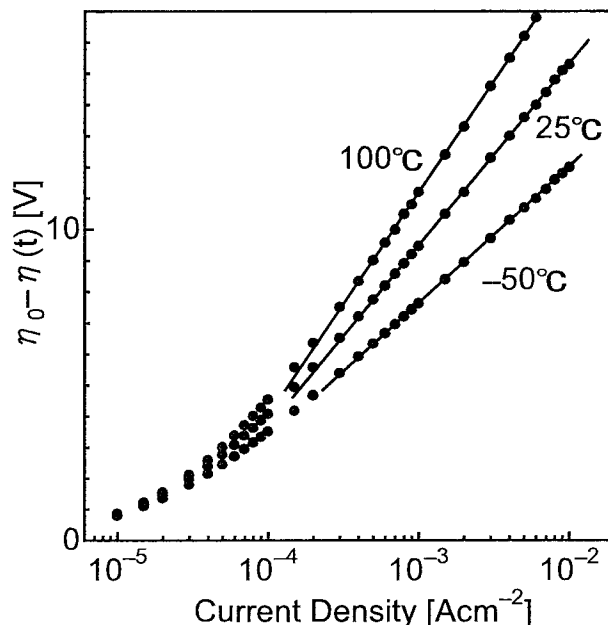


Fig.4 Relationship between $\eta_0 - \eta(t_m)$ and current density for various choices of temperature.

Fig.4 は、 $\eta_0 - \eta(t_m)$ と $\ln(i_0)$ の関係を示している。温度を $-50, 25, 100^\circ\text{C}$ とした。ここに示すように、 $\eta_0 - \eta(t_m)$ と $\ln(i_0)$ の関係は、 i_0 が大きい領域で直線性を満足する。この直線と電流軸との切片から交換電流密度を得ることができる。

実際に実験をすると、電解液温度としては、室温から 80°C 程度しか保てないが、広範囲の温度において検討するため、理論値の計算を行った。

一般の電極反応において、反応に必要な活性化エネルギー E_0 [J mol^{-1}]は、アレニウスの関係から、交換電流密度 i_0 を用いて、通常つぎのように表される。

$$i_0 = K \exp(-E_0/RT) \quad (K \text{ 定数}) \quad (15)$$

Fig.4 からわかるように、電流密度 $1 \sim 10 \text{ Acm}^{-2}$ の範囲で、直線性がよく満足されている。解析では、この範囲の結果を参考にした。

したがって、式(15)の関係から $\ln(i_0)$ と $1/T$ をプロットしたとき、直線性を満足するので、この直線の

傾きから陽極酸化反応に必要な活性化エネルギー E_0 を求めることができる。

Fig. 5 は、 $\ln(i_0)$ と $1/T$ の関係を示したものである。ほぼ直線性を満足しているが、精密に観測すると、40～50℃付近を境として、高温側と低温側で、直線の傾きが異なることがわかる。

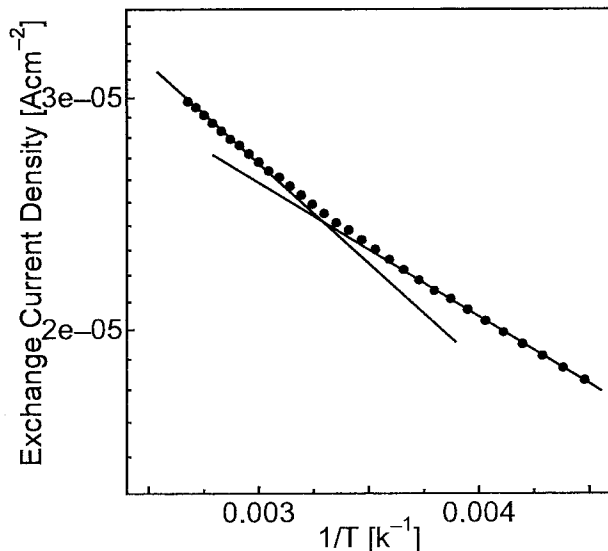


Fig.5 Relationship between exchange current density and reciprocal absolute temperature.

本来この関係は、広範囲の温度で直線性を満たすべきであるが、電極反応に、誘電率の変化や反応の進行において何らかの特異性が生じたら、活性化エネルギーが変化するので、直線の傾きが変わることが考えられる。しかし、この解析は理論値解析であり、実際に電極反応を進行させた上での特異性は考慮していない。それでもなお、傾きに若干ではあるが変化があるのは、電極反応が本質的に持っている普遍的結果である可能性がある。

実際の Si-Pt 系では、定電流電解を行って酸化膜を成長させると、45℃で成長させた場合、酸化膜内部に十分な酸素が供給されず、酸化膜の成長が遅くなり、一定の電圧に達するまで時間がかかることが得られている⁽⁵⁾。また、電池としてよく用いられる Zn 電極系の反応では、不働体皮膜の生成が 50～55℃で最大になるという報告⁽⁶⁾もある。このような実験結果はいろいろな電極系で見られるが、その原因は未解明である。温度が非常な高温であれば、物質の相変化や、比熱の変化による温度の特異性が見られるが、室温からそれほど高くない温度における物質の

転移は考えにくい。本報告で述べたように、通常理論で展開した理論式を用いた場合、アレニウスの関係で、当該付近の温度で直線の傾きに変化が生じたことから、電極反応のもつ普遍的な原因によるものではないかと推測される。

また、非結晶 Si と Pt 系電極でのアノード反応において、実験から得たデータを用いてアレニウスプロットを作成すると、室温から 70℃の範囲でこのような直線の傾きの変化は観測されなかった⁽⁷⁾。従来の電極では、当然結晶をもつ電極が使用されていることから、電極の結晶状態から生じる特異性である可能性もある。いずれにしても、通常理論式から得たデータによる計算から温度特異性が得られたことは、注目される結果であり、電極反応の根本的問題であると思われ、今後、実験で得たデータと、より広範囲の理論値計算の併用から、さらに深い原因の究明ができるものと考えられる。

4. 結論

電極反応において、電極表面に成長する薄膜の特性を知る上で、電極を電解液から取り出すことなく調べるには、電流遮断法が適している。Si と Pt の系により成長する陽極酸化膜の温度特性を調べると、室温からそれほど高くない温度で、内部の酸素分布に異常性が見られる⁽⁸⁾。この特異性は、他の電極系についても報告された例があり、その原因はわかっていない。

そこで、電流遮断法の理論の原点に戻り、原理的に解釈されている一般的な理論式を用いて、電極間電圧の時間特性を計算した。この手法により速度論的なパラメータや反応の活性化エネルギーを数値解析的に求めると、実際の電極系で観測される温度特性ほど顕著ではないが、ほぼ該当する温度範囲に特異性が見られた。

この結果から、このような低温での挙動は、電極反応において、電極が持つ普遍的な事柄が関係している可能性があることが見出された。本報告での数値計算は、実際の実験との整合性を見ながら行ったものであるが、論理計算であるので、今後、実際に実験することのできない高温や電流密度での計算を行うことにより、特性が生じる原因の究明ができることが示唆された。

(平成 16 年 5 月 10 日受理)

参考文献

- (1) 仁木克己, 高橋正雄, 電気化学
Vol.40 p462 (1972)
- (2) 林忠夫, 石田武男, 金属表面技術
Vol.17 p419 (1966)
- (3) 仁木克己, 高橋正雄, 電気化学
Vol.39 p909 (1971)
- (4) 柚賀正光, 竹内学, 大山昌憲, 表面技術
Vol.50 p278 (1999)
- (5) 柚賀正光, 吉岡学洋, 竹内舞, 高橋三男, 大山
昌憲, 表面技術 Vol.47 p607(1996)
- (6) 山下嗣人, 野中誠一, 日本化学会誌
Vol.12 p2287 (1974)
- (7) 柚賀正光, 赤沢昇, 山崎珠, 大山昌憲,
表面技術 Vol.43 p335(1992)
- (8) 柚賀正光, 大山昌憲, 竹内学, 電気化学
Vol.68 p5758 (2000)

電子レポート収集システムの開発

小坂敏文*, 吉本定伸*, 西村 亮*, 松林勝志**

Development of Collecting Homework System with Website

Toshifumi KOSAKA, Sadanobu YOSHIMOTO,
Makoto NISHIMURA, Katsushi MATSUBAYASHI

It is strongly recommended for students in computer science course to write lots of computer programs to master programming languages. In addition, it is considered that practice is one of good methods to study engineering. It is hard, however, for both students and teachers to write reports of programming and to collect their reports. For teachers who are very busy the collecting reports system with web-site has been developed. In the system, the students are asked to upload their reports to their own websites, and the teacher has to make just a link list webpage in his own website. The system makes teacher's work lighter.

In this report, the details of the system are introduced and how it works is mentioned.

(Keywords: Website, Collecting Homework System)

1. はじめに

本校情報工学科における演習付き授業「プログラミング言語演習」は、座学講義を重ねてもプログラミングの力が学生に定着しない。そこでプログラミングの課題をたくさん行ってもらい、慣れ親しんでもらうことが必要になっている。また、制御工学のように従来座学であった科目でも、学生への定着を考えると実物で制御プログラミングを行うスタイルの授業が必要になってきている。ところが、課題を与え、演習を多く行おうとすると、教員側は提出課題の採点に追われ、多くの時間を割くことになる。採点に多くの時間を割くことは当然だが、それ以上に提出状況の管理、督促、提出課題レポートの管理に多くの時間が必要となる。学生はレポート提出したつもりだが、実際は提出してないというトラブルや、レポート用紙サイズは A4 統一だが、厚みが不均一で見落としが出てくるので、レポート提出状況集計だけでも大変な作業量になる。(トラブルを防ぐためにレポートのソーティングも時間のかかる、本質的でない教員の作業である。) 以前は半期に 10 課題/科目程度の採点であったが、最近は半期に 20 から 50 課題/科目を提出してもらっているの、こうなると、とても従来の紙媒体のレポート提出では対処できない。

そこで、学生が、自分でレポート提出状況を確認でき、管理できるシステムが必要となる。このシステムでは、そのまま、教員側にとってもレポートの提出状況がわかり、提出状況の集計に惑わ

されずに、レポート内容の点検(教員にとって、本質的な仕事)のみの作業となり、不必要な作業から解放されることになる。

このような環境を作る教育サポートシステムに求めることは次の 5 点である。

(R1) 学生が簡単に電子媒体で課題提出ができること。

(R2) 学生は課題提出状況を自分で確認できること。

(R3) 教員も学生の課題提出状況を自分で一覧できること。

(R4) 教員は学生の提出課題のうちプログラムを簡単に C&P・コンパイル・実行でき、検査・評価ができること。また期末には全レポートを一括収集できること。

(R5) 教員は学生の課題に対して簡単にフィードバックができること。

2. 現在使用できるリソースとレポート集計システムの構想

本校における、学生のコンピュータ演習環境は次のようになっている。

(1) 学生は本校教育用 UNIX マシン (host 名 tnc20) にアカウントを持っている。この UNIX マシンは、プライベートアドレスのため、本校外部からは見えない。また全学生は学校内に電子メールアカウントを持っている。(設定によって転送も可能)

(2) 教員も同じ本校教育用 UNIX マシンにアカウントを持っている。

(3) この本校教育用 UNIX マシンでは、Web サーバが稼動しており、学生は自分のホームディレクトリ中に Web 公開用サブディレクトリをつくり、そこに任意のファイルを置くことにより、学校内に対してファイルを Web 公開できる。

(4) この本校教育用 UNIX マシンでは管理上の理由から CGI は運用されていない。

(5) 学生は校内共通コンピュータ演習室の UNIX クライアント、WindowsPC および情報工学科棟の実験室の UNIX クライアント、WindowsPC を利用したプログラミング演習、マイコンプログラミング演習を行うことができ、FTP により、ファイルを本校教育用 UNIX マシンにアップロードできるようになっている。

このような環境の下で、教育サポートシステムを実現するには、

(1) 学生は課題を、あらかじめ決められたファイル名のファイルで教育用 UNIX マシン Web 上に公開する。

(2) 教員は学生の提出ファイルのリンクリスト HTML 文書を決められた場所 (教員の教育用 UNIX マシン Web サイト) に置き、この HTML 文書中で担当全学生の複数の課題提出ファイルにリンクを張っておく。

(3) 教育用 UNIX マシンでは CGI サービスが行われていないため、教員の教育用 UNIX マシン Web サイトでは、定期的 (5 分間隔) な集計表 HTML 文書の自動作成を行う。

のようにすればよい。

3. 電子レポート収集システム

教育サポートシステムには「1」で述べた R1-R5 の 5 つの機能が求められていたが、このうち、R1 は Web 公開できる環境を学生が持っているため、すでに満たされている。R5 も教員の Web サイトあるいは電子メールが使用できるため、満たされている。したがって R2, R3, R4 を満たすシステムを構築すればこの教育サポートシステムを実現できる。

電子レポート収集システム (ERSYS) は次の 2 つの部分より構成される。

(1) 課題提出のファイル名・学生の ID を基に、リンクリスト HTML 文書を自動作成するシステム

(2) 課題提出状況一覧 HTML 文書を自動作成するシステム (全課題ファイルを期末に収集し、整理する作業もできる)

4. リンクリスト HTML 文書自動生成システム

リンクリスト HTML 文書は Web ブラウザで見ると図 1 のように見える文書である。課題の説明や、課題提出のためのファイル名、提出期限が書かれており、学生の出席番号氏名および課題ファイル名リストが表示される。ファイル名のところはリンクが張られているため、これをクリックすると、学生が提出したファイルが表示される。学生が、課題未提出であったり、提出方法を誤った場合には、Web で見られる通常のエラーメッセージが表示される。

このリンクリスト HTML 文書は、次の 2 つのテキストファイルから自動的に生成される。

(1) 特殊キーワードで囲まれた提出ファイル名を含むソーステキストファイル

(ここでは 3JCMC2003.txt)

(2) ベースディレクトリ (すべての学生の Web サイト URL の共通部分)、学生の ID・出席番号・氏名の一覧が記載された設定テキストファイル

(固定ファイル名 makeRecReportPage.txt)

この 2 つのファイルから、リンクリスト HTML

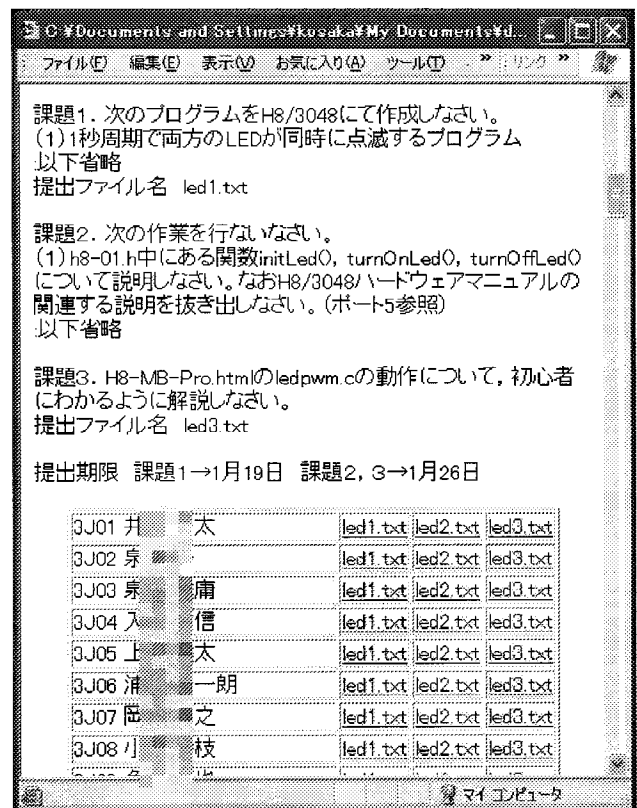


図1 Web ブラウザで見たリンクリスト HTML 文書
出席番号、氏名、課題ファイル名リストがあり、課題ファイル名は各学生のファイルへとリンクが張られている (学生氏名のところは隠してある)

文書を作る手順を図2に示す。実際の作業は、ツールプログラム (makeRecReportPage.exe) を用いて WindowsPC 上で行なわれる。

ツールプログラムと設定テキストファイルを同一フォルダ内に置き、ソーステキストファイルをツールプログラムにドロップすることによりリンクリスト HTML 文書 3JCMC2003.txt.html を得る。

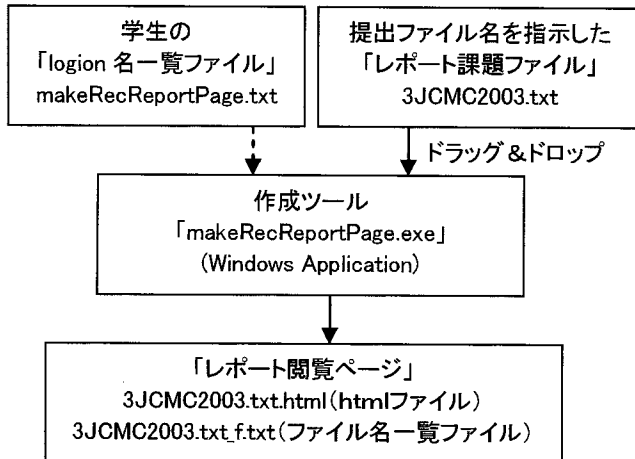


図2 リンクリスト HTML 文書の作り方

リスト1 ソーステキスト 3JCMC2003.txt
通常の文章と、「@」で始まるキーワードが見える。

```

課題1. 次のプログラムを H8/3048 にて作成しなさい。
(1) 1 秒周期で両方の LED が同時に点滅するプログラム
:以下省略
提出ファイル名 led1.txt

課題2. 次の作業を行ないなさい。
(1) h8-01.h 中にある関数 initLed(), turnOnLed(),
turnOffLed()について説明しなさい。なお H8/3048 ハ
ードウェアマニュアルの関連する説明を抜き出しなさい。(ポート 5 参照)
:以下省略

課題3. H8-MB-Pro.html の ledpwm.c の動作について、初心者にわかるように解説しなさい。
提出ファイル名 led3.txt

提出期限 課題1→1 月 19 日 課題2, 3→1 月 26 日

@begin
@list "CMC/led1.txt" "led1.txt"
@list "CMC/led2.txt" "led2.txt"
@list "CMC/led3.txt" "led3.txt"
@end
  
```

リスト2 設定テキストファイル

makeRecReportPage.txt

「ベースURL」, 学生のID・出席番号, 氏名が見える。ただし氏名はここでは伏せてある。

```

basehref "http://tnct20.tokyo-ct.ac.jp/"
student "j01501" "3J01" "井XXXXX"
student "j01502" "3J02" "泉XXXXX"
student "j01503" "3J03" "泉XXXXX"
student "j01504" "3J04" "入XXXXX"
student "j01505" "3J05" "上XXXXX"
student "j01506" "3J06" "浦XXXXX"
student "j01509" "3J07" "岡XXXXX"
student "j01510" "3J08" "小XXXXX"
:
以下省略
  
```

リスト3 自動生成されたリンクリストHTML 文書(「レポート閲覧ページ」) 3JCMC2003.txt.html の一部

```

課題1. 次のプログラムを H8/3048 にて作成しなさい。<BR>
(1) 1 秒周期で両方の LED が同時に点滅するプログラム
<BR>
:以下省略<BR>
提出ファイル名 led1.txt<BR>
<BR>
課題2. 次の作業を行ないなさい。<BR>
(1) h8-01.h 中にある関数 initLed(), turnOnLed(),
turnOffLed()について説明しなさい。なお H8/3048 ハードウェア
マニュアルの関連する説明を抜き出しなさい。(ポート 5 参照)
<BR>
:以下省略<BR>
<BR>
課題3. H8-MB-Pro.html の ledpwm.c の動作について、初心者
にわかるように解説しなさい。<BR>
提出ファイル名 led3.txt<BR>
<BR>
提出期限 課題1→1 月 19 日 課題2, 3→1 月 26 日<BR>
<BR>

<CENTER>
<TABLE BORDER=1>
<TR><TD>3J01 井XXXXX</TD><TD><A
HREF="j01501/CMC/led1.txt">led1.txt</A></TD><TD><A
HREF="j01501/CMC/led2.txt">led2.txt</A></TD><TD><A
HREF="j01501/CMC/led3.txt">led3.txt</A></TD></TR>
<TR><TD>3J02 泉XXXXX</TD><TD><A
HREF="j01502/CMC/led1.txt">led1.txt</A></TD><TD><A
HREF="j01502/CMC/led2.txt">led2.txt</A></TD><TD><A
HREF="j01502/CMC/led3.txt">led3.txt</A></TD></TR>
<TR><TD>3J03 泉XXXXX</TD><TD><A
:
以下省略
  
```

この時、用いていたソーステキストファイル(提出ファイル名を指示した「レポート課題ファイル」) 3JCMC2003.txt の一部(図 1 に表示された部分)と設定テキストファイル(学生の「logion 名一覧ファイル」, これはファイル名固定) makeRecReportPage.txt をリスト 1, 2 に示す。

自動生成されたリンクリスト HTML 文書(「レポート閲覧ページ」) 3JCMC2003.txt.html の一部をリスト 3 に示す。このファイルを Web ブラウザで開くと図 1 のように見える。なお、同時にテキストファイル 3JCMC2003.txt_f.txt が生成されるが、これは、次に述べる自動集計で使用される。

5. 課題提出状況一覧 HTML 文書自動生成システム

このシステムは学生 ID 一覧テキストファイル ChkStudentReportData.txt(ファイル名は固定で、内容は makeRecReportPage.txt と同じ) および、提出ファイル名一覧テキストファイル ChkStudentReportFname.txt(ファイル名は固定で、内容は「4」で述べたシステムが自動生成した 3JCMC2003.txt_f.txt と同じ) を基に、教育用 UNIX マシン内を巡回し、課題提出状況を一覧にして HTML 文書化するシステムである。

このシステムは教育用 UNIX マシン内で定期的(5 分に 1 回程度起動し、一覧表を更新している)

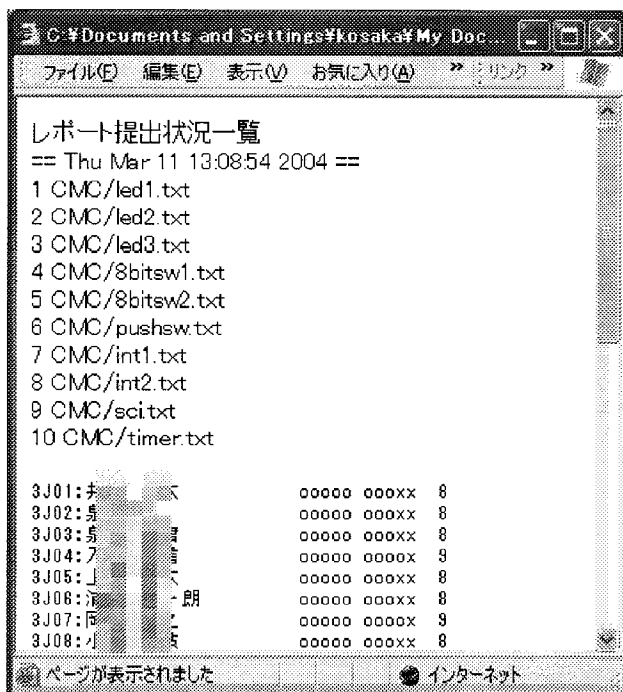


図2 Web ブラウザで見た課題提出状況一覧の Web ページ
(学生氏名のところは隠してある)

に動作させている。

なおオプションで、全課題ファイルを収集できるようにになっている。

さらに全課題ファイルを収集するサブシステムにおいては、WindowsPC 上で動作するシステムも開発され、便利になっている。

6. まとめ

学生が将来エンジニアとして巣立ってゆくときに、どのような技術を身につけているかが大事な時代となっている。プログラミングなどの基本技術は、普段から多くの課題を演習したり、自ら興味を持って自分で考えたものを作ってゆかないと習得できない。授業で多くの課題を与えた時、教員は 1 人 1 人の提出課題の内容に手をかけなければならないが、それ以外に全体の課題の提出状況の管理もしなければならない。全体の課題の管理は教員が行なわなくてもよい内容だが、実際には教員の大きな負担であった。

ここに紹介した電子レポート収集システム(ERSYS)を用いると、全体の課題の管理をコンピュータが上手にこなしてくれ、教員の手助けになっている。

すでに、このシステムを稼働させ、改良を重ねて 2 年が経過した。これまでにプログラミング言語演習 II, IV, コンピュータ計測制御, 制御工学でこのシステムを用いている。また専攻科の中間発表の予稿集原稿の提出にも使う予定である。電子メール提出よりも受け取り側は楽である。修正原稿の再提出があっても、最終締切時刻に全ファイルを自動的に収集するだけである。

このシステムの詳細は次の Web サイトにあり、必要なシステムも入手できる。

<http://www2.tokyo-ct.ac.jp/~j/staff/kosaka/studentreports/index.html>

<http://www2.tokyo-ct.ac.jp/~j/staff/kosaka/studentreports/ERSYS/ersys.html>

(平成 16 年 5 月 11 日受理)

完全相補系列を用いた CDMA システムにおける 二種類の信号生成法の比較

小嶋徹也*, 藤原亜希子**, 矢野健二**, 青野正宏*

On the Efficiency of Two Signal Design Methods
for the CDMA System Using Complete Complementary Codes

Tetsuya KOJIMA, Akiko FUJIWARA, Kenji YANO and Masahiro AONO

Some signal design methods for the approximately synchronized CDMA systems based on complete complementary codes have been proposed. The designed signals cause no co-channel interference nor detection of sidelobe within a single cell. There are, however, some interferences from the transmitters in other cells when different complete complementary codes are assigned to different cells. In this paper, we consider two of those signal design methods using complete complementary codes. The efficiency of the communication systems using these two methods under the multi-cell scenario are analyzed and compared through some numerical simulations.

(Keywords: CDMA, complete complementary code, inter-cell interference)

1 まえがき

移動体通信などで用いられるセルラ CDMA システムにおいては, 上り回線の通信におけるチャネル間干渉は非常に深刻な問題である. また, 近年の無線ブロードバンド通信に対する急激な需要の増加に伴い, このような移動体通信システムにおける周波数利用効率の向上も重要な課題とされる. これらの問題に対し, 未広は相互相関のない周期系列を用いて生成した擬似周期系列を用いた信号設計方式を提案した [1]. この方式により生成された CDMA 信号により, 通信システムにおいて近似的に同期が保たれている場合には, チャネル間干渉もマルチパスフェーディングも生じないことが示されている. このことは, 整合フィルタ出力におけるサイドローブが 0 シフトを中心とするある特定の範囲で 0 となることに起因している.

また, 自己および相互相関特性に優れた完全相補系列 [2] という特殊な系列の集合を用いることにより, これらの特性をさらに強化できることも示されている [3]. さらに未広らは, 完全相補系列の性質を活用し, マルチパスの推定と情報信号の

畳込みを利用したディジタル変復調方式を開発し, 情報伝送効率を飛躍的に高めることができることを示している [4, 5].

通常の CDMA システムにおいては, チャネル間干渉やマルチパスフェーディングが主な雑音として考えられる. 一方, 完全相補系列を用いた信号設計方式の場合は, 単一セルにおいては, チャネル間干渉やマルチパスフェーディングを完全に排除することが可能であるため, これらはもはや雑音ではなくなり, マルチパスに至っては, 情報信号を復元するための重要な要素として利用されることになる. したがって, 完全相補系列を用いたシステムでは, 通常の CDMA システムで考慮しないような, 電力の低い雑音成分, 例えば機器の発する熱雑音や, 他のセルからの干渉の影響を考えることになる.

事実, 複数のセルからなる通信システムにおいては, 完全相補系列を用いた場合でも, 他のセルのユーザからの信号による干渉の影響を避けることができない. なぜならば, 隣接する異なるセルに対しては, 異なる完全相補系列系を割り当てなければならないが, 一般に異なる完全相補系列系

どうしの相互相関特性が良いという保証がないからである。このことから、完全相補系列系どうしの相関特性に関する研究 [6] や、セル間干渉の影響を統計的観点から考察した研究 [7] なども行なわれている。

完全相補系列を用いた通信方式では、いくつかの信号設計法が提案されており、いずれも上で述べたような特性，すなわち，チャネル間干渉やマルチパスフェーディングの除去，周波数利用効率の向上，などを実現可能であることが示されている [3, 4, 5, 7, 8]。本論文では，これらの信号設計法のうち 2 つの方法について，その特性を比較・検討することを目的としている。これらの各方式において受信側で信号を復調する際には，推定したマルチパス特性を係数として持つような連立一次方程式を解く必要がある。今回用いる 2 つの方式のうち，一つではこの係数行列が下三角行列となり，もう一つの方式では巡回行列となる。いずれも，方程式の解を容易に求めることは可能であるが，方程式の形式の違いが通信特性に与える影響については，十分に検討されていない。

本研究ではこの点に着目し，2 つの信号設計法について，セル間干渉や熱雑音による通信特性の違い，具体的にはこれらの雑音成分がビット誤り率に与える影響について調べ，比較を行なう。

以下，第 2 節では，数学的準備として，相関関数，および完全相補系列を定義する。また，第 3 節では，完全相補系列を用いた CDMA 信号生成法と，通信システムの特長についてまとめる。第 4 節において，今回行なった数値実験の方法と結果についてまとめた上で，今回検討した 2 つの信号生成法の特長について考察し，第 5 節で結論を述べる。

2 相関関数と完全相補系列

2.1 有限長系列の相関関数

いま，長さが N の有限長複素数値系列 $A = \{a_0, a_1, \dots, a_{N-1}\}$ ， $B = \{b_0, b_1, \dots, b_{N-1}\}$ を考える。このとき，これら 2 つの系列の相互相関関数 (cross-correlation function) は，任意の時間シフト $k \geq 0$ に対し，

$$A * \bar{B}(k) = \begin{cases} \sum_{t=0}^{N-1-k} a_t \bar{b}_{t+k}, & \text{if } 0 \leq k \leq N-1, \\ 0, & \text{if } k \geq N \end{cases} \quad (1)$$

$$A * \bar{B}(-k) = \begin{cases} \sum_{t=k}^{N-1} a_t \bar{b}_{t-k}, & \text{if } 0 \leq k \leq N-1, \\ 0, & \text{if } k \geq N \end{cases} \quad (2)$$

で定義される。ここで， $\bar{B}$ は， B の複素共役を表す。また， $B = A$ のとき，相関関数 $A * \bar{A}$ を自己相関関数 (auto-correlation function) と呼ぶ。

相関関数 $A * \bar{B}$ は，系列 B の整合フィルタ (matched filter) に系列 A を入力した際の時間領域における出力系列と考えることもできる。実際，系列 A の整合フィルタに系列 A を入力すると，0 シフトにおいて，フィルタ出力の最大ピーク値が得られる。

2.2 完全相補系列系

ここでは，末広 [2] により定義された完全相補系列系について説明する。完全相補系列系は，絶対値 1 の有限長複素数値系列について定義されるものであるが，本研究では 2 相の場合，すなわち $\{-1, +1\}$ の 2 値の有限長系列を用いる場合のみを考えるため，以下では 2 値系列を念頭において話を進める。

n 個の系列 $\{A_0, A_1, \dots, A_{n-1}\}$ の自己相関関数の総和が，0 シフト以外のすべての時間シフトにおいて 0 となるとき，すなわち，任意の $k \neq 0$ に対し，

$$\sum_{i=0}^{n-1} A_i * \bar{A}_i(k) = 0 \quad (3)$$

であるとき，この n 個の系列は自己相補系列系 (auto-complementary code) であるという。また， n 個の系列の組 $A = \{A_0, A_1, \dots, A_{n-1}\}$ ， $B = \{B_0, B_1, \dots, B_{n-1}\}$ について， $k = 0$ を含む任意の時間シフト k において

$$\sum_{i=0}^{n-1} A_i * \bar{B}_i(k) = 0 \quad (4)$$

が成り立つとき, この 2 つの系列の組 A, B は相互相補系列系 (cross-complementary code) をなす, という. さらに, n 個の系列からなる自己相補系列系が n 組あり, このうち任意の 2 組が相互相補系列系をなすとき, この n 組の自己相補系列系の集合は位数 n の完全相補系列系 (complete complementary code) であるという.

例えば, 2 値系列 A_0, A_1, B_0, B_1 が

$$\begin{aligned} A_0 &= (-+--), & A_1 &= (---+), \\ B_0 &= (+---), & B_1 &= (++-+) \end{aligned} \quad (5)$$

のように与えられているとする. ここで, $+, -$ はそれぞれ $+1, -1$ を表している. 系列 A_0, A_1 の自己相関関数の和は

$$A_0 * \overline{A_0} + A_1 * \overline{A_1} = (0, 0, 0, 8, 0, 0, 0) \quad (6)$$

となり, 同様に系列 B_0, B_1 の自己相関関数の和は

$$B_0 * \overline{B_0} + B_1 * \overline{B_1} = (0, 0, 0, 8, 0, 0, 0) \quad (7)$$

となる. したがって, 系列の組 $\{A_0, A_1\}, \{B_0, B_1\}$ はいずれも自己相補系列系である. 一方, 系列 A_0 と系列 B_0 の相互相関関数と系列 A_1 と系列 B_1 の相互相関関数の和は

$$A_0 * \overline{B_0} + A_1 * \overline{B_1} = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0), \quad (8)$$

$$B_0 * \overline{A_0} + B_1 * \overline{A_1} = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0) \quad (9)$$

のように求められるため, 系列の組 $\{A_0, A_1\}$ と $\{B_0, B_1\}$ は相互相補系列系をなす. したがって, 2 組の系列の組 $\{\{A_0, A_1\}, \{B_0, B_1\}\}$ は位数 2 の完全相補系列系をなす.

アダマール行列を用いると, 任意の位数 n について, 各系列の長さが 2^n の完全相補系列系はいくらでも生成することが可能である [2].

3 完全相補系列の特性を活用した CDMA システム

いま, 位数 m の完全相補系列系:

$$\left\{ \begin{aligned} &\left\{ \begin{array}{cccc} C_0^{(0)}, & C_1^{(0)}, & \dots, & C_{m-1}^{(0)} \\ C_0^{(1)}, & C_1^{(1)}, & \dots, & C_{m-1}^{(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_0^{(m-1)}, & C_1^{(m-1)}, & \dots, & C_{m-1}^{(m-1)} \end{array} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

を考える. ここで, 系列 $C_j^{(i)}$ の上添え字 (i) は完全相補系列系をなす自己相補系列系の番号を, 下添え字 j は, 各自己相補系列系をなす個々の系列の番号を表している.

本論文では, 完全相補系列を用いた 2 つの信号生成法を取り扱うので, これらを方式 1, 方式 2 と呼び, 以下にその詳細を述べる. また, 本研究では, セルラ CDMA システムにおける上り回線に完全相補系列を導入した場合について検討するため, 以下ではそれを念頭において議論を進めることとする. すなわち, 以下の議論における「送信側」は移動局を, 「受信側」は基地局を意味する.

3.1 信号生成方式 1

3.1.1 送信手続き

完全相補系列を用いた CDMA システムでは, 無線チャネルにおけるマルチパス特性を推定するためのパイロット信号と, 情報伝送用の信号とを同時に送信する.

方式 1 では, パイロット信号を

$$a \left[\left(C_0^{(0)} \right)_0 + \left(C_1^{(0)} \right)_\tau + \left(C_2^{(0)} \right)_{2\tau} + \dots + \left(C_{m-1}^{(0)} \right)_{(m-1)\tau} \right] \quad (11)$$

のように生成する. ここで, a は任意の定数で, $a = 1$ と考えても差し支えない. また, $\{C_0^{(0)}, C_1^{(0)}, \dots, C_{m-1}^{(0)}\}$ は, 0 番目の自己相補系列系であり, $(\cdot)_\tau$ は長さ τ の時間遅延を意味している.

いま, 送信側が長さ L のデータ $(d_0^{(1)}, d_1^{(1)}, \dots, d_{L-1}^{(1)})$ を送るものとする. このとき, パイロット信号に使用した自己相補系列系と同じ完全相補系列系に含まれる別の自己相補系列系, すなわち, $\{C_0^{(0)}, C_1^{(0)}, \dots, C_{m-1}^{(0)}\}$ と相互相補系列系をなすような系列の組 $\{C_0^{(1)}, C_1^{(1)}, \dots, C_{m-1}^{(1)}\}$ を情報伝送用に使用する. 情報伝送用の信号は,

$$\alpha \sum_{i=0}^{L-1} d_i^{(1)} \times \left(\left(C_0^{(1)} \right)_i + \dots + \left(C_{m-1}^{(1)} \right)_{(m-1)\tau+i} \right) \quad (12)$$

のように, 一種の畳込み演算を行なって生成する. ここで, α は正の定数であり, 信号のエネルギー

を調整するためのアンプの増幅率に関係したパラメータである。

m 個の自己相補系列系からなる (位数 m の) 完全相補系列系を用いて通信を行なう場合は, m 個のうち 1 つの自己相補系列系を共通のパイロット信号用に利用し, 残りの $(m-1)$ 個の自己相補系列系をそれぞれ別の情報チャネル用に利用することが可能である。例えば, マルチユーザ環境では, 1 個のセルまたはセクタあたり 1 個の完全相補系列系を割り当ててを考えると, そのセルないしセクタでは最大で $(m-1)$ 人のユーザが同時に通信を行なうことができる。この場合, 各ユーザ用の情報伝送用信号も式 (12) と同様にして生成する。

送信機は, 上のようにして生成したパイロット信号と情報信号を同じ周波数の搬送波で 1 次変調し, 同時に送信する。これらの信号は同一のマルチパスチャネルを通して, 受信側へと伝送されると考えることができる。

3.1.2 マルチパスの推定と信号の復調

いま, $(p_0, p_1, \dots, p_{L-1})$ をマルチパスチャネルの電波伝搬特性を表す複素数値系列であるとする。 p_0 は, 受信波のうち, 最初に受信機に到来した信号の位相・振幅特性を表す複素数であり, 各 $p_k (k \geq 1)$ は, k タイムスロットだけ遅れて到来した遅延波の位相・振幅特性を表す複素数であるとする。このとき, $L-1$ タイムスロット遅れた遅延波までを考慮に入れることとなる。

受信側では, 送信側で 1 次変調に用いた周波数と同一周波数で受信波を検波し, 得られたベースバンド信号を m 個の系列 $C_{m-1}^{(0)}, C_{m-1}^{(1)}, \dots, C_{m-1}^{(m-1)}$ それぞれに対応した m 個の整合フィルタに遅延なしで入力する。また, 同じベースバンド信号を τ 時刻遅延させて, m 個の系列 $C_{m-2}^{(0)}, C_{m-2}^{(1)}, \dots, C_{m-2}^{(m-1)}$ それぞれに対応した m 個の整合フィルタに入力する。同様に, 同じ信号を $k\tau$ 時刻遅延させて, m 個の系列 $C_{m-1-k}^{(0)}, C_{m-1-k}^{(1)}, \dots, C_{m-1-k}^{(m-1)}$ それぞれに対応した m 個の整合フィルタに入力する, という操作を繰り返し, 最後に m 個の系列 $C_0^{(0)}, C_0^{(1)}, \dots, C_0^{(m-1)}$ それぞれに対応した m 個の整合フィルタに $(m-1)\tau$ 時刻遅延させて入力する。

この操作を行なった後, m 個の系列 $C_0^{(0)}, C_1^{(0)}, \dots, C_{m-1}^{(0)}$ それぞれに対応した m 個の整合フィルタの出力系列の総和をとる。このとき, 完全相補系列の特性により, マルチパス特性を表す複素数値系列 $(p_0, p_1, \dots, p_{L-1})$ は, これらのフィルタ出力の総和として得られる時系列中のある部分にそのままの形で含まれる。したがって, 受信側では, マルチパス特性 $(p_0, p_1, \dots, p_{L-1})$ を正確に知ることができる。

例えば, $L=4$ とし, 式 (5) における自己相補系列系 $\{A_0, A_1\}$ をパイロット信号として用いた場合, 系列 A_0, A_1 に対応した整合フィルタ出力の和として得られる系列は

$$8a(0, 0, 0, p_0, p_1, p_2, p_3, 0, 0, 0) \quad (13)$$

のようになる。したがって, フィルタ出力の総和を観測するだけで, マルチパス特性 (p_0, p_1, p_2, p_3) を容易に得ることができる [8]。

同様に, m 個の系列 $C_0^{(1)}, C_1^{(1)}, \dots, C_{m-1}^{(1)}$ それぞれに対応した m 個の整合フィルタの出力系列の総和をとると, 長さ L の別の複素数系列 $(q_0^{(1)}, q_1^{(1)}, \dots, q_{L-1}^{(1)})$ を得ることができ, 未知の送信データ $(d_0^{(1)}, d_1^{(1)}, \dots, d_{L-1}^{(1)})$ に対して, 連立一次方程式:

$$P \cdot \mathbf{d} = \mathbf{q} \quad (14)$$

を構成することができる。ここで, ベクトル $\mathbf{d}, \mathbf{q}$ は, $\mathbf{d} = [d_0^{(1)}, \dots, d_{L-1}^{(1)}]^\top$, $\mathbf{q} = [q_0^{(1)}, \dots, q_{L-1}^{(1)}]^\top$ ($^\top$ は転置ベクトルを表す) であり, このときの係数行列 P は,

$$P = \begin{bmatrix} p_0 & 0 & \dots & 0 \\ p_1 & p_0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{L-1} & p_{L-2} & \dots & p_0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

のように下三角行列で与えられる [8]。このような方程式は $d_0^{(1)}$ から順に簡単に解くことが可能であるため, 受信側では, 送信データ $(d_0^{(1)}, d_1^{(1)}, \dots, d_{L-1}^{(1)})$ を容易に正しく復元することが可能である。他のデータチャネル (他ユーザの信号) についても, 同様の手続きでデータの復調を行なうことができる。

3.2 信号設計方式 2

3.2.1 送信手続き

任意の系列 C に対し, $\tilde{C} = \overleftarrow{C}CC\cdots CC\overrightarrow{C}$ をその拡張系列と呼ぶことにする. すなわち, C を数回反復した前後に $\overleftarrow{C}$, $\overrightarrow{C}$ を接続した系列を考える. ここで, 拡張系列の最初と最後に接続された $\overleftarrow{C}$, $\overrightarrow{C}$ は, ガードチップの役割を果たすものであり, それぞれ, 系列 C の最後の数チップ, 最初の数チップを表している. すなわち, $\tilde{C}$ は C が無限回反復された周期系列のうち, ある一部分を切り出したものであると考えることができる. 一般には, 中央で反復する C の回数は任意でよいが, 以降で述べるようなマルチパスの切り出しと情報信号の復元を理想的に行なうためには, ガードチップ $\overleftarrow{C}$, $\overrightarrow{C}$ の長さと共に, C の反復回数も適切に導き出す必要がある.

方式 2 では, 自己相補系列系 $\{C_0^{(0)}, C_1^{(0)}, \dots, C_{m-1}^{(0)}\}$ を構成する各系列の拡張系列 $\tilde{C}_j^{(0)}$ を用いて, マルチパス推定用のパイロット信号を

$$a \left[\left(\tilde{C}_0^{(0)} \right)_0 + \left(\tilde{C}_1^{(0)} \right)_{\tau'} + \left(\tilde{C}_2^{(0)} \right)_{2\tau'} + \cdots + \left(\tilde{C}_{m-1}^{(0)} \right)_{(m-1)\tau'} \right] \quad (16)$$

のように構成する. ここで, 方式 1 の場合と同様に, a は任意の定数であり, $(\cdot)_{\tau'}$ は長さ τ' の時間遅延を表している.

情報伝送用信号は, パイロット信号に用いた自己相補系列系と同じ完全相補系列系に含まれる別の自己相補系列系を用いて生成する. このとき, パイロット信号と同じように, 情報伝送用の自己相補系列系を構成する各系列の拡張系列を用意し, 方式 1, すなわち式 (12) と同様の畳込みを行なって信号を生成する. 具体的には式 (12) における各項 $\left(C_k^{(1)} \right)_{k\tau+i}$ の代わりに拡張系列を用いた $\left(\tilde{C}_k^{(1)} \right)_{k\tau'+i}$ を用いると考えればよい. また, 方式 1 の場合とは一度に畳み込むデータの長さが異なることがあるため, データの長さを L ではなく, L' と表すことにする.

方式 1 と同様に, 位数 m の完全相補系列系を用いる場合には, 1 個の自己相補系列系を共通のパイロット信号に, 残りの $(m-1)$ 個の自己相補系列系を情報伝送用に利用でき, 送信機では, こ

れらの信号を同一の搬送波周波数で変調して同時に送信する.

3.2.2 マルチパスの推定と信号の復調

受信側では, 送信側で 1 次変調に用いた周波数と同一周波数で受信波を検波し, 得られたベースバンド信号を m 個の系列 $\left(C_{m-1}^{(0)} C_{m-1}^{(0)} \right), \dots, \left(C_{m-1}^{(m-1)} C_{m-1}^{(m-1)} \right)$ に対応した m 個の整合フィルタに遅延なしで入力する. 以下, 方式 1 の場合と同様に, 同じベースバンド信号を $(m-1)\tau'$ 時刻遅延させて m 個の系列 $\left(C_0^{(0)} C_0^{(0)} \right), \left(C_0^{(1)} C_0^{(1)} \right), \dots, \left(C_0^{(m-1)} C_0^{(m-1)} \right)$ に対応した m 個の整合フィルタに入力するまで繰り返す. ここで, 方式 1 とは異なり, 整合フィルタは自己相補系列系に含まれる系列そのものではなく, 各系列が 2 回反復された系列に対応している点に注意する必要がある.

この操作を行なった後, m 個の系列 $\left(C_0^{(0)} C_0^{(0)} \right), \left(C_1^{(0)} C_1^{(0)} \right), \dots, \left(C_{m-1}^{(0)} C_{m-1}^{(0)} \right)$ それぞれに対応した m 個の整合フィルタの出力系列の総和をとると, 方式 1 の場合と同様に, マルチパス特性を表す複素数値系列 $(p_0, p_1, \dots, p_{L'-1})$ をそのままの形で観測することができる. 同様にして, m 個の系列 $\left(C_0^{(1)} C_0^{(1)} \right), \left(C_1^{(1)} C_1^{(1)} \right), \dots, \left(C_{m-1}^{(1)} C_{m-1}^{(1)} \right)$ それぞれに対応した m 個の整合フィルタの出力系列の総和をとると, 別の複素数値系列 $(q_0^{(1)}, \dots, q_{L'-1}^{(1)})$ を得ることができ, 未知の送信データ $(d_0^{(1)}, d_1^{(1)}, \dots, d_{L'-1}^{(1)})$ に対して, 式 (14) と同様の連立一次方程式を構成することができる. ただし, この方式の場合は, 係数行列は式 (15) の P とは異なり,

$$P' = \begin{bmatrix} p_0 & p_{L'-1} & \cdots & p_1 \\ p_1 & p_0 & \cdots & p_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{L'-1} & p_{L'-2} & \cdots & p_0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

のように, L' 次の巡回行列として得られることになる [5].

実はこの種の連立方程式は, 離散フーリエ変換 (DFT) を用いて, 容易に解けることが知られている. 実際に, 巡回行列 P' の逆行列は

$$(P')^{-1} = \frac{1}{\sqrt{L'}} \cdot F_{L'} \cdot \Lambda^{-1} \cdot \overline{F_{L'}} \quad (18)$$

で与えられることが簡単な計算により示される. ここで, $F_{L'} = [f_{L'}(i, j)]$ は L' 次の DFT 行列であり, その (i, j) 成分は

$$f_{L'}(i, j) = \frac{1}{\sqrt{L'}} \cdot \exp\left(-\frac{2\pi\sqrt{-1}ij}{L'}\right) \quad (19)$$

で与えられる. また, $\overline{F_{L'}}$ は $F_{L'}$ の複素共役であり, 行列 Λ は対角成分が複素数値系列 $(p_0, p_1, \dots, p_{L'-1})$ の DFT で与えられるような対角行列である. したがって, 整合フィルタ出力の総和をとった後, 得られた時系列データから長さ L' の特定の部分を切り出して DFT を行なうことにより, 送信データ $(d_0^{(1)}, d_1^{(1)}, \dots, d_{L'-1}^{(1)})$ を復元することができる.

3.3 セル間干渉の影響

以上で述べた, 2 つの信号生成方式を用いた近似的同期 CDMA システムにおいては, 1 個のセルに 1 個の完全相補系列系を割り当てる. すると, 同一のセル内においては, $(m-1)$ 個の移動局から発信された上り回線の信号どうしの干渉, すなわちチャンネル間干渉は生じない. 通常の CDMA システムでは, チャンネル間干渉に加え, マルチパスフェーディングも大きな雑音成分として考えられるが, 完全相補系列を用いた場合は, マルチパスはもはや雑音ではなく, 送信されたデータを受信側で復元するための重要な情報源であると考えることができる.

一方, 複数のセルからなるマルチセル環境においては, 異なるセルには, 異なる完全相補系列系を割り当てることになる. しかし, 異なる完全相補系列系に含まれる自己相補系列系の間には, 式 (4) で示したような相互相補性は必ずしも成り立たない. したがって, この場合, 上り回線における各移動局からの信号に混入する雑音源としては, 機器により発生する熱雑音に加えて, 他のセルの移動局や基地局からの信号による干渉成分を考慮しなければならない.

本研究では, パワーコントロールを行なうことを想定しているため, 希望セル (中央セル) 内のユーザが送信した信号は, 基地局においてほとんど減衰せずに受信することができる. しかし, 希望セル外のユーザや基地局が送信した信号の電力

は, 距離に応じて減衰して希望セルの基地局に到来する. 一般に, 信号の電力は, 自由空間においては, 送受信地点間の距離 r の 2 乗に反比例して減衰する. しかし, 都市部など, 障害物が多い場合などは, 距離の 4 乗に反比例するモデルや, シャドウイングなどの影響を考慮して, $10^{(\xi/10)}r^{-4}$ に比例して減衰するモデルを考えることもある [9]. ここで, ξ は正規分布 $N(0, \sigma^2)$ に従う確率変数である.

文献 [7] では, このようなセル間干渉の影響について, 統計的見地から理論的な解析が試みられているが, 干渉波電力のおおまかな上限値を示したに過ぎず, 実際の通信特性の解析などは行なわれていない.

4 計算機シミュレーションおよび考察

本節では, マルチセル環境下での CDMA システムの信号設計方式として前節で述べた方式 1 と方式 2 を採用した場合の通信特性について, 計算機シミュレーションを通して比較を行なう. 具体的には, セル間干渉と熱雑音を雑音源として, 両方式を用いた場合のビット誤り率 (BER) を調べる. 実験は, 以下のような条件の下で行なう.

- 位数 8, 長さ 64 の完全相補系列を使用し, 1 個の自己相補系列系をパイロット信号として, 残りの 7 個を情報伝送用として用いる.
- 情報データの長さは $L = 89$ [bit] で, 各ビット毎に $\{-1, +1\}$ が等確率で出現するようにランダムに生成する.
- 方式 2 における各系列の反復回数は 8 とし, ガードチップ $\overline{c}_j^{(i)}, \overline{c}_j^{(i)}$ の長さはいずれも 1 [chip] とする.
- 両方式とも, パイロット信号や情報伝送信号における各系列間の間隔は 128 [chip] とする.
- マルチパス特性の長さは 15 タイムスロットとする.
- 各セルの半径は 1 [km] とし, 希望セル以外のセルは 1 個のみとする.

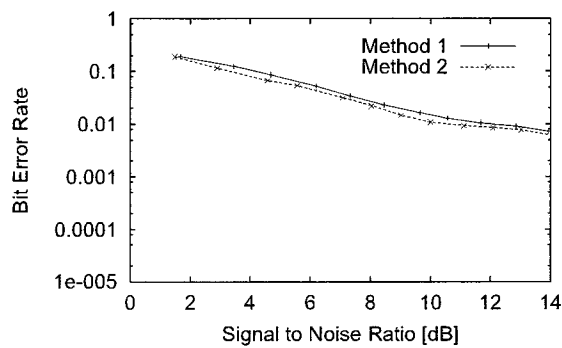


図 1: セル間干渉波の振幅が距離に反比例して減衰する場合のビット誤り率.

- セル内におけるユーザの位置は一様分布に従い, ランダムに与える.
- 熱雑音は平均 0 のガウス雑音とする.
- 連立方程式 (14) の解が負の場合は値を -1 , 正の場合は値を $+1$ に正規化した上で, 送信データと比較してビット誤り率を計算する.

図 1, 2 にシミュレーション結果を示す. 図 1 は, 他セルのユーザの信号の振幅が距離に反比例, すなわち信号電力が距離の 2 乗に反比例して減衰すると仮定した場合のビット誤り率である. 一方, 図 2 は他セルのユーザの信号が距離の 2 乗に反比例, すなわち信号電力が距離の 4 乗に反比例して減衰すると仮定した場合のビット誤り率である. グラフ内の各点は, ランダムにデータを発生して行なった実験を 10000 回独立に繰り返して得られた BER の平均値である.

2 つの図より, セル間干渉波の振幅が距離に反比例して減衰する場合と距離の 2 乗に反比例して減衰する場合とでは, 2 乗で減衰する場合の方が通信性能が良いことがわかる. また, 振幅が距離の 2 乗に反比例して減衰する場合では, 方式 1 と方式 2 の通信特性に大きな差があることが認められる. 例えば S/N 比が 12 [dB] の場合に 1 [Mbit] のデータを送信したとすると, 方式 2 の場合に生じるビット誤りはわずか数 [bit] に過ぎないのに対し, 方式 1 の場合は 400 [bit] 程度もの誤りを生じることが見てとれる. これは, 方式 1 においては, 連立方程式を解く際, 1 ビット目の誤りが以降のビットの復元結果に伝播しやすいことに起因

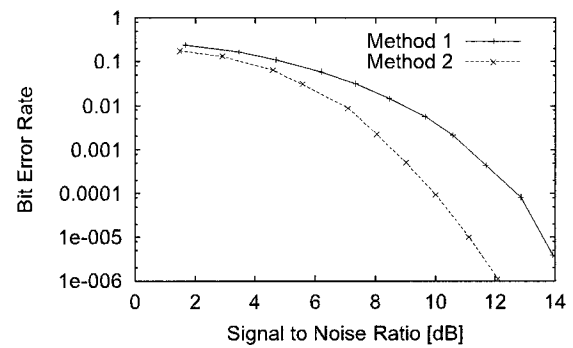


図 2: セル間干渉波の振幅が距離の 2 乗に反比例して減衰する場合のビット誤り率.

していると考えられる. 一方, 方式 2 では DFT 行列を用いて復調を行なうため, このような誤りの伝播は起こりにくいと予想される.

また, 図示はしていないが, 実際には, セル間干渉波の振幅が距離の 4 乗に反比例して減衰する場合の実験も行なった. この場合は, 信号電力は距離の 16 乗に反比例して減衰することになり, 希望セルの基地局に到来したときには干渉波電力は無視できるほど小さくなっていると考えられる. ところが, 結果は図 2 に示したものとほとんど同じ結果になることがわかった. したがって, 図 2 の場合も, セル間干渉波の成分は無視できるほど小さく, 実際の雑音源としては熱雑音が支配的であると考えることができる.

図 1 の場合は, セル間干渉波の影響が大きく出ていると考えられるが, 熱雑音も含めた雑音の影響があまりに大きいため, 方式 1, 2 の通信特性の差異があまり見られなかったと考えられる.

5 むすび

完全相補系列を用いた 2 つの信号設計方式について, マルチパス環境下における通信特性の影響について比較検討を行なった.

その結果, 熱雑音の影響が支配的である場合には, 方式 1 の場合よりも方式 2 の場合の方が優れた通信特性を有することが明らかになった. また, セル間干渉の影響が大きい場合には, 両者の特性に大きな違いは認められなかった.

ここで, 両方式の情報伝送速度について検討して

みる. 両方式とも, 89 [bit] のデータを 7 チャンネルで送信するので, 一度に 623 [bit] のデータを送信できる. 一方, 実験に使用した条件の下で, 方式 1 における信号の長さは $(64+128) \times 8 = 1536$ [chip] であり, 方式 2 では $(64 \times 8 + 2 + 128) \times 8 = 5136$ [chip] である. いま, 16 QAM で多値変調を行ない, チップレートを 26 [MHz] とすると, 方式 1 の情報伝送速度は約 42.2 [Mbps] であるのに対し, 方式 2 は約 12.6 [Mbps] にとどまってしまう. したがって, 高い BER 特性が要求される場合には, 方式 2 は適しているが, 伝送速度は犠牲になってしまうため, 高速な通信を行なう場合には方式 1 の方が適しているといえる.

今回の数値実験では, 希望セル外のセルをわずか 1 個に限定しており, 実際のセル間干渉の影響を考えるには不自然かつ不十分である. 実際には文献 [6] で検討されているような方法で完全相補系列系を複数の隣接セルに割り当て, さらに現実的な条件の下で通信特性を検討する必要がある. また, 方式 2 における信号の長さをさらに短くする方法についても検討し, 伝送速度をそれほど犠牲にしなくても優れた BER 特性を示すような信号設計法について考察することも重要である.

謝辞

筑波大学 末広 直樹 教授には, 信号設計のアイデアをご教授いただき, また貴重なコメントもいただきました. ここに心より感謝の意を表します.

参考文献

- [1] N. Suehiro, "A Signal Design without Co-Channel Interference for Approximately Synchronized CDMA Systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.12, no.5, pp.837-841 (1994).
- [2] 末広 直樹, "倍数差直交系列と完全相補系列系," 電子通信学会 (現・電子情報通信学会) 論文誌, vol.J65-A, no.12, pp.1247-1253 (1982).
- [3] N. Suehiro and N. Kuroyanagi, "Binary Signal Design for Approximately Synchronized CDMA Systems without Detection Sidelobe nor Co-Channel Interference Using Auto- and Cross- Complementary Codes," *Proc. ICUPC'98* (1998).
- [4] N. Suehiro, N. Kuroyanagi and S. Matsufuji, "Revolutional Increasing of Frequency Usage Efficiency Based on Multipath Estimation and Signal Convolution in Approximately Synchronized CDMA Systems without Co-Channel Interference Using Complete Complementary Code," 信学技報, SST 99-6 (1999).
- [5] N. Suehiro, N. Kuroyanagi, T. Imoto and S. Matsufuji, "Very Efficient Frequency Usage System Using Convolutional Spread Time Signals Based on Complete Complementary Code," *Proc. PIMRC 2000* (2000).
- [6] T. Imoto, N. Suehiro, N. Kuroyanagi and P. Fan, "Inter-Code Properties of Complete Complementary Codes for Inter-Cell and Inter-Sector Code Assignment for Approximately Synchronized CDMA," 信学技報, SST99-139 (2000).
- [7] T. Kojima, "On the Inter-Cell Interference for the Uplink of CDMA Systems Using Complete Complementary Codes," 第 23 回 情報理論とその応用シンポジウム 予稿集, pp.559-562 (2000).
- [8] T. Kojima and N. Suehiro, "On the Influences of the Convolved Signals with the Constrained Dynamic Range in the CDMA Systems Using Complete Complementary Codes," 第 25 回 情報理論とその応用シンポジウム 予稿集, pp.679-682 (2002).
- [9] K.S. Gilhousen, I. M. Jakobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L. A. Weaver Jr. and C. E. Wheatley III, "On the Capacity of a Cellular CDMA System," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol.40, no.2, pp.303-312 (1991).

(平成 16 年 6 月 17 日 受理)

土壌生態系影響評価指標としての陸棲貝類の可能性

庄司 良*, 浅野浩一**, 平田房雄***

Feasibility of terrestrial snails to evaluate impact of heavy metals on soil ecosystem

Ryo SHOJI, Koichi ASANO, Fusao HIRATA

A material flow model on terrestrial ecosystem that responds to change in the environment was developed. We focused on terrestrial organisms seriously affected by rain or soil, including snails and earthworms that are the typical organisms in ecosystem around soil environment. We examined pH, TOC (total organic carbon concentration) and concentration of heavy metals (Pb, Cu, Zn) in rain water continuously sampled at Tokyo National College of Technology. The pH of the rain was almost higher than 3.73 that cannot directly cause serious damage to both organisms. Also, leaching tests were performed at pH=3.11~5.90 for some soil samples where some snails are existing. Heavy metals in the soil samples could be leached especially in low pH, and the concentration of the heavy metals were enough high to cause lethal effect on earthworms. It was suggested that rains having low pH cause heavy metal leaching from soil to water and cause serious damage to organisms in ecosystems. In additions amount of the heavy metal up taken to snail and earthworms was also examined when heavy metals were exposed to the two kinds of organisms. The effect on the survival of snail in heavy metal exposure could be observed when the amount of the heavy metal up- taken to snail was significantly large.

(Keywords: acid rain, earthworms, heavy metals, soil ecosystem, terrestrial snails)

1. はじめに

近年、日本においては顕著な酸性雨被害は報告されていないものの、高速自動車道路などの建設によって、局地的な酸性雨が発生し、周辺地域の生態系に大きな影響を与えることがある¹⁾。高速道路など社会的に必要不可欠なインフラの建設に際しては、綿密な環境アセスメントによって周辺

地域の生態系影響を評価・予測し、重大な影響を生じ得ないと判断された場合、建設計画が開始されるが、その生態影響評価は短期的なスパンにとどまるばかりか、生態系影響評価の指標としては哺乳類動物や鳥類が主であるため、土壌や土壌中に棲息する生物に対しては十分に安全な環境アセスメントになり得ていない²⁾。土壌中の

(微)生物生態系は食物連鎖の根幹を成しているため、その影響の度合いを定量的に評価する指標生物の確立が急がれる。陸棲生態系に対する生態系影響評価の例は、OECD が標準的な生態系影響評価指標として定めているミミズしかなく³⁾、陸棲生態系を表現するためには指標生物の種類や数がありにも不足している。定量的なデータを再現性良く得るために、本邦では陸棲生態系として代表的であり、全国各地に広く存在する陸棲貝類などの新しい指標生物の導入が必要になっている。

一方、種々の環境汚染の中で酸性雨の影響に限定した場合、土壤生態系影響を評価した研究の大半は土壤に生息する微生物を用いており、生態系影響を直接的に評価した例はほとんどない。本邦のみならず、特に欧州においては未だに深刻な酸性雨影響が森林破壊などの影響として観察されているし、我が国においても近隣諸国の経済・産業発展により酸性雨原因物質が偏西風により移動し、酸性雨の観察回数は再び増加の傾向にある⁴⁾。そのため、国内外のいずれにおいても環境アセスメントの一助として、酸性雨の広域的または局地的生態系影響を評価する手法の更なる拡充が求められているといっても過言ではない。

本研究では、生態系影響評価ツールの一つとして陸棲貝類を選択し、その指標生物としての可能性を検討することで、土壤に対する環境アセスメントの一助とすることを目的とし、自動車排ガスを原因とする局地的な酸性雨の発生状況から、擬似的または実際の酸性雨を陸棲貝類(ウサワマイ)に曝露し、有害性に対する応答性を評価した。有害性応答の安定性や再現性、評価の感度等を検証し、生態系影響評価の指標生物と

しての可能性を検証した。

2. 実験方法

2-1. 実態調査 (フィールドワーク)

すでにこれまでの研究により⁵⁾、八王子市内高速道路周辺における酸性雨の降雨状況が明らかとなっており、高速道路周辺地域に特に深刻な酸性雨の降雨が認められたため、降雨と土壤を採取し酸性度を評価して、酸性雨の降雨状況並びに土壤の酸性化を評価した。初期降雨を全降雨と区別して採取できる酸性雨採取装置⁵⁾を用いて酸性雨を採取し、現場で pH を測定した。採取した酸性雨と土壤試料は化学分析に供した。加えて、高速道路周辺においての陸棲貝類特にウサワマイの生息状況を調査した。高速道路の影響が小さいと考えられる山間部でも同様に調査し、周辺地域の降雨の pH とウサワマイの生息量との関係について検証した。

2-2. 培養方法および毒性試験

生態系影響評価のための指標生物としては、安定的に培養が可能であることが必要不可欠となる。基本的には同じく土壤生態系破壊の指標生物として用いられているシミス⁶⁾の培養に従い³⁾、恒温装置 (ASTEC Personal incubator, ASPEC, Tokyo, Japan) 内で 25℃の一定に保ち、800lux の連続照明下、年間を通して繁殖させた。

6 穴プレートに OECD テストガイドライン 208³⁾に従い、土壤試料を公比 2 で 5 段階に希釈した。希釈には炭素含量 1.5%を超えない土壤(10%ピート, 20%植物培養土, 70%砂)を用いた。サンプルは各シャーレにつき 1 匹で各濃度区 10 個、ブランクを含め 6 濃度区の計 60 サンプルを用いた。48 時間後の致死率を測定した。生死の判断は、ウサワマイは死後軟細胞の腐食による溶解、シミス

ズは接触の刺激への応答と、死後腐食による変色、溶解で行った。

2-3. 化学分析

2-3-1. 降雨化学分析

酸性雨採取装置によって採取した降雨を $0.2\mu\text{m}$ のメンブランフィルター (Advantive DISMIC-25cs, TOYO Co., Tokyo, Japan) でろ過した。得られた試料について pH, 一般水質指標として電気伝導度と総有機炭素量 (TOC analyzer 5000A, Shimadzu, Kyoto, Japan) を測定した。加えて、重金属類を ICP (Inductively Coupled Plasma emission spectrometry; Seiko Instruments inc sps 7800) によって測定した。

2-3-2. 土壌化学分析

土壌の分析に際しては、環境庁告示法 46 号法⁶⁾による溶出試験を行った。各試料に液固比 10 となるように純水を加え、6 時間振とうさせた。次に 3000rpm で 20 分間遠心分離し、孔径 $0.20\mu\text{m}$ メンブランフィルターを用いて濾過し、化学分析に供した。

2-3-3. 生体内重金属含有量分析

ウスカママイ、シミズ⁸⁾ならびにウスカママイが主食とする葛が含有する金属を分析した⁷⁾。純水で洗浄後、1g を測り 120°C で 2 時間乾燥させ、乳鉢で粉碎後、3M 硝酸 10ml で溶解、煮沸し、25ml に定量、 $0.20\mu\text{m}$ メンブランフィルターでろ過し、鉛、亜鉛、銅を ICP 原子発光吸光分析装置で定量分析を行った。

ウスカママイ、ミミズの個体そのもの及び殻について、生体中に存在する金属類量を定量分析し、環境汚染物質の蓄積量を測定した。それぞれ純水で洗浄後、重量を測り、ウスカママイについては冷凍後、殻と軟細胞に分離、シミズ⁸⁾はそのまま 120°C で 2 時間乾燥させ、乳鉢で粉碎後、3M 硝酸 10ml で溶解、煮沸し、25ml に定量、メンブランフィ

ルター ($0.20\mu\text{m}$) でろ過後、鉛、亜鉛、銅を定量分析した。

3. 結果

3-1. 酸性雨の直接毒性影響

東京高専ならびに中央高速道路周辺において採集した全降雨と初期降雨の pH を比較すると、初期降雨の pH が有意に低く、最低 pH は 3.73, 平均 pH は 4.23 となった。初期降雨に関しては東京都の降雨平均値⁸⁾である pH 4.8 よりも有意に低いことが明らかとなった。全降雨の pH は 4.6-5.3 となり、全降雨でみればそれほど深刻な酸性雨ではないと判断できる。

また、ウスカママイやシミズ⁸⁾が生息する周辺土壌の酸性度を評価した結果、5 地点の土壌の最低 pH が 4.94, 平均 pH が 5.41 であった。5 地点での降雨の酸性度と土壌の酸性度の間には相関は認められなかったため、土壌の酸性が降雨由来であるとは断定できない。やや腐食が進んだ結果として生成するフミン酸やフルボ酸による酸性であると考えerのうが妥当であろう⁹⁾。

一方、供試生物であるウスカママイとシミズ⁸⁾に対する酸曝露実験の結果、pH4.23 におけるウスカママイとシミズ⁸⁾の生存率はそれぞれ 100% と 67% となった。以上のことからシミズ⁸⁾は酸性雨に対する影響を顕著に受ける可能性が指摘されたが、ウスカママイに対しては酸性雨の直接曝露による有意な影響は認められないと判断された。ただし、炭酸カルシウムを主成分とするウスカママイ⁸⁾外殻の溶解は pH4.23 では全く確認されなかった。

3-2. 土壌からの重金属溶出と毒性影響

一般に土壌からの重金属溶出は、溶出溶液の酸性度に大きく依存することが知られている。pH4.23 の降雨が 2 (mm/hour) の降

雨量で 12 時間連続した場合の土壌からの有害重金属類の溶出を仮定した。純水及び pH4.23 に調製した蒸留水を用いて液固比 10 の溶出試験を行った。各重金属の溶出量を表 1 に示す。

表 1 土壌からの重金属溶出量 (mg/kg) とウスカマイとシミス[®]の致死率 (%) への影響

		pH=4.23	pH=6.80
鉛	溶出量	9.75	3.36
	ウスカマイ	ND	ND
	シミス [®]	73	0.9
亜鉛	溶出量	0.48	0.34
	ウスカマイ	ND	ND
	シミス [®]	ND	ND
銅	溶出量	0.75	0.63
	ウスカマイ	ND	ND
	シミス [®]	ND	ND

(ND: Not Detected)

pH4.23 の時の鉛、亜鉛、銅の溶出量は pH6.80 の純水の場合の溶出量と比較して有意に増加した。土壌には酸に対する緩衝作用があるが、緩衝能力を超える酸性度の降雨が長期的に降った場合、土壌からの有害重金属の溶出量が増加することが懸念される。

土壌から溶出した重金属量を純水 (pH=6.80) 10mL 中に溶解させ、曝露したウスカマイとシミス[®]の生存率を表 1 にまとめる。表 1 より、鉛のシミス[®]に対する影響が有意に観測されたが、ウスカマイに対してはいずれの金属も無影響濃度以下の溶出量であると判断され、またシミス[®]に対しても亜鉛と銅の溶出量は致死的な影響を示さないといえる。以上の検討により、酸性雨のウスカマイに対する直接影響や溶出重金属による有害性を經由した間接影響は認められないこ

とが明らかとなった。

3-3. 重金属蓄積量と致死率の関係

重金属は長期間の曝露のうち体内に蓄積し、慢性的な毒性が発現する可能性があるため、重金属の蓄積量を評価した。図 1 に鉛曝露濃度の上昇に伴うウスカマイならびにシミス[®]の致死率および鉛蓄積量の変化を示す。

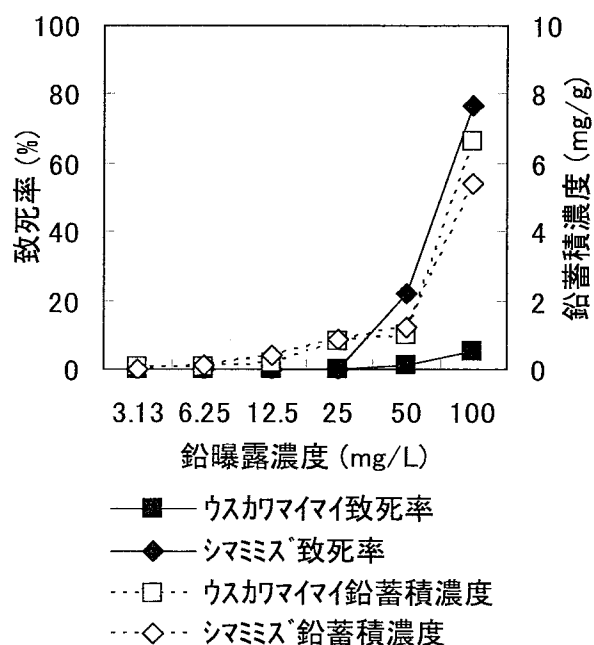


図 1 鉛曝露濃度の上昇に伴うウスカマイならびにシミス[®]の致死率および鉛蓄積量の変化

検討した濃度範囲、曝露時間において、シミス[®]に関しては、曝露濃度の増加に伴い、吸収量と致死率が増加した。一方、ウスカマイに関しては、致死率はほとんど増加しなかったが、吸収量はシミス[®]に匹敵する高濃度となったため、より高濃度かつ長時間の曝露により、ウスカマイに対しても致死的な影響を及ぼす可能性は否定できないと考えられる。他方、亜鉛に関しては、鉛と同じ濃度領域と曝露時間ではシミス[®]、ウスカマイ共に致死的な影響は認められなかったが、吸収量は曝露濃度の上昇と共に有意に増加

した。また、銅に関しては、鉛と同じ濃度領域と曝露時間ではシャミズ、ウスカマイ共に全く吸収されず、結果として致死的な影響は認められなかった。

3-4. ウスカマイならびにシャミズの生態系における重金属の物質循環

生体内への重金属の蓄積を考える場合、重金属の取り込み経路としては降雨や土壤溶出液だけでなく、摂食による経路も考えられるため、ウスカマイが摂食するクズとシャミズが摂食する土壤試料中の金属含有量を同時に測定した。図2に金属の1日毎の曝露量と降雨、土壤、クズ、ウスカマイ、シャミズの含有金属濃度を示す。

降雨からの鉛の移動は観測できないものの、もともとの土壤由来の鉛がウスカマイやシャミズへ移動する経路を明らかにした。結

果、土壤との直接摂食によって高濃度の鉛がウスカマイやシャミズに移動することが明らかとなった。一方、土壤からクズを経由してウスカマイに至る食物連鎖の過程では、生物濃縮は確認されなかった。そもそもウスカマイやシャミズなどの生物は有害な化学物質を排除する機構を有しているが、ウスカマイ、シャミズ 1 個体当たりそれぞれ、 $12.4 \mu\text{g}$ 、 $7.9 \mu\text{g}$ もの鉛を含有していることが、このフィールド調査によって明らかになった。それぞれの上位捕食者（コマドボタル、シャミズ）に対する影響が懸念される。これらホタル類中における重金属蓄積量と有害性影響を検証する必要がある。亜鉛や銅に関しては、3-2で行った検討の結果を比較して、図2で示した曝露濃度では、有意な毒性影響はほとんど考えられない。

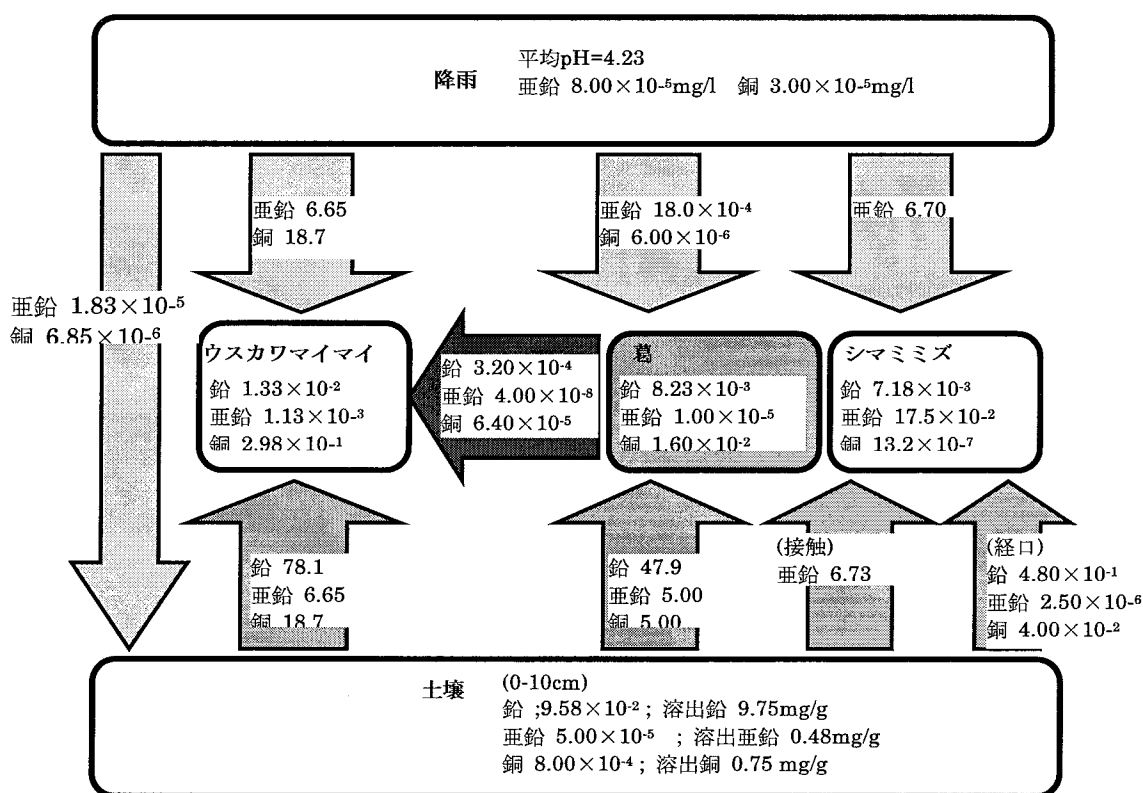


図2 1日毎の金属曝露量 (mg/g) と降雨、土壤、クズ、ウスカマイ、シャミズの含有金属量 (mg/g)

4. 考察

陸棲生態系に対する影響を評価する新しい指標生物の導入により、環境アセスメントの手法の確実性を高めることが期待される。既往の環境アセスメントではその地域に特異的な生物種ばかりに焦点が当てられる。例えば、湿地帯における飛行場立地においては飛来する鳥類、ダム建設においては、周辺山地に生息する猛禽類などである。ところが、それら全ての生態系を支える基本となるのは陸棲(土壌中)の生物である。実際、本研究でフィールドワークを行った地域においても、ホタルの絶滅が認められており、その一因としてホタルの幼虫が餌とするウスカマイの数が中央高速道路の建設によって激減していることが指摘されている。本研究の成果だけでは因果関係を明らかにすることはできないが、本研究の遂行の結果、陸棲生態系に対する顕著な影響が予測される場合、生態系保全の方策として高速道路の影響が小さい地域に生態系保全地域を設定する等の具体的な周辺地域における宅地等の開発計画を提言することが可能になる。

本研究の結果、検討した 3 種類の重金属類のうち、特に鉛について毒性影響が懸念される結果を得たが、有鉛ガソリンの使用禁止などの措置の結果か、降雨試料中に鉛は検出されず、結果として土壌中の鉛濃度も徐々に減少していくと予想される。しかし、依然として高濃度の鉛がウスカマイやヤマミズ体内中に蓄積されていたため、継続してモニタリングを続けていく必要がある。

また、ウスカマイやヤマミズは広く日本中に存在する一般的な土壌生物であるため、本研究で主として扱った西東京地域だけでなく、日本各地における環境アセスメントツールとして、本研究の成果が応用できると考えられる。

5. 参考文献

- 1) 平田房雄ら，高速道路の降水成分に及ぼす影響，電気化学会技術・教育研究論文誌，1，77-80（1993）
- 2) 庄司良，迫田章義，バイオアッセイを用いた環境分析・計測の動向，学会誌「EICA」，9，2-7（2004）
- 3) OECD guideline for testing of chemicals. "Earthworm, Acute Toxicity Tests" 207（1984）
- 4) Takahashi and Hirata, Influence of an Expressway on the Chemical Composition of Rainwater, 大気汚染学会誌，28，38-43（1994）
- 5) 平田房雄ら，八王子市内の酸性雨の研究，東京高専研究報告書，19，95-98（1989）
- 6) 環境庁告示第 46 号“土壌の汚染に係る環境基準について”（1990）
- 7) Alan Beeby, Larry Richmond, Florian Herpe. Lead reduces shell mass in juvenile garden snails(*Helix aspersa*). *Environmental Pollution* 120, 283-288（2002）
- 8) 東京都環境局提供
- 9) Alan Beeby, Larry Richmond., *Applied Soil Ecology* 22, 159-165（2003）

謝辞

本研究の一部は財団法人鉄鋼業環境保全技術開発基金第 24 回環境研究助成の支援を賜った。また、フィールドワークに際して、NPO“板当川ホタル調査団”の協力を頂戴した。以上、記して謝意を表する。

（平成 16 年 6 月 18 日受理）

『新撰万葉集』注釈稿(上巻 秋部 六三〜六四)

一般科目 津 田 潔 ・ 共立女子大学 半澤 幹 一

The Annotation of the Shinsen-man'yōshū (11)

Kiyoshi TSUDA, Kan'ichi HANZAWA

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

63 卒尔裳 風之涼 吹塗鹿 立秋日砥者 郁子裳言芸里

にはかにも 風の涼しく 吹きぬるか 秋立つ日とは むべも言ひ
けり

【校異】

本文では、第四句の「立秋日」を永青文庫本と久曾神本は「秋立沼」とする。また永青文庫本は結句の「裳」を「牟」とし、次の「言」を欠く。

訓みでは、第三句の「ふき」を天理本は「なり」とする。第四句の「立秋」を底本は「たつあき」とするが、底本異訓も含め、藤波家本・和学講談所本・道明寺本以外が「あきたつ」とするのに従う。

同歌は、寛平御時后宮歌合にはないが、後撰集(巻五、秋上、二一七番)に「これさだのみこの家の歌合に」として(ただし第三句「なりぬるか」、また古今和歌六帖(巻一、歳時、秋たつ日、一二八番)「つらゆき」として(ただし第三句「なりゆくか」、新撰朗詠集(上、秋、立秋、一八七番)にも見られる(ただし第三句「成りぬるか」)。

【通釈】

急に風が涼しく吹いたことだなあ。立秋の日とはなるほどそのとおり

63 涼風忽扇物先哀。 涼風忽ち扇れば物先づ哀し。

応是為秋氣早来。 応に是れ秋氣の早く来たるが為なるべし。

壁蜚家家音始乱、 壁蜚家家に音始めて乱れ、

叢芽処処萼初開。 叢芽処処に萼初めて開く。

【校異】

「涼風」を、類従本・和学講談所本・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「涼颺」に作る。「忽扇」を底本等諸本「急扇」に作るも、永青文庫本・久曾神本に従う。「先哀」を類従本「光哀」に作り、林羅山本・無窮会本「光哀」に作るも「光」に「ツ」の訓あり。「萼」を林羅山本・無窮会本・永青文庫本・久曾神本「蕊」に作る。

また、一首全体が『新撰朗詠集』立秋に採られ、「涼颺忽扇物先哀」(起句)「叢蘭処処蕊初開」(結句)に作る。

【通釈】

涼しい風がフツと私を吹き抜けると、あたりのものが真っ先に悲しく感じられた。それはきつと(その風に乗って)秋という寒くもの寂しい季節が早くもやって来たからだだろう。(その証拠に)家々の壁ではコオ

を言うものだよ。

【語釈】

にはかにも 「にはかに」は急に、突然に、の意の副詞。古辞書に

「卒」字の訓みの一つとして見られる。万葉集には「：むら肝の 心碎けて 死なむ命 にはかに〔尔波可尔〕なりぬ：」（万葉集一六一三八一一）の一例があり、危篤の意を表す。八代集にも、後撰集所載の同歌以外に「ひとりぬる人のきかくに神な月にはかにもふるはつ時雨かな」（後撰集八―四四七）の一例があるのみで、類義の「うちつけに」の方が「郭公人まつ山になくなれば我うちつけにこひまさりけり」（古今集三―一六二）「打ちつけに物ぞ悲しきこのはちる秋の始をけふぞとおもへば」（後撰集五―二二八）「うちつけにたもとすずしくおぼゆるはころもに秋はきたるなりけり」（後拾遺集四―二三五）などのように、多く見られる。「にはかにも」の「も」は詠嘆を表し、この句全体が修飾するポイント「涼しく」にあるとみなされる。

風の涼しく 風に対する触覚（温度感覚）表現として類義の「涼し」と「寒し」は、万葉集においては「涼し」が「秋風は涼しくなりぬ馬並めていざ野に行かな萩の花見に」（万葉集一〇―二一〇三）「初秋風涼しき夕解かむとそ紐は結びし妹に逢はむため」（万葉集二〇―四三〇六）の二例しかないのに対して、「寒し」は「秋風の寒き朝明を佐農の岡越ゆらむ君に衣貸さましを」（万葉集三―三六一）「うつせみの世は常なしと知るものを秋風寒み偲びつるかも」（万葉集三―四六五）「このころの秋風寒し萩の花散らす白露置きにけらしも」（万葉集一〇―二一七五）の他、多く見られる。それが八代集になると、「涼し」の方が「寒し」よりやや多くなり、それぞれ「河風のすずしくもあるかうちよする浪とともにや秋は立つらむ」（古今集四―一七〇）「とこととはにふくゆふぐれのかぜなれどあきたつ日こそすずしかりけれ」（金葉集三―一五六）「たなばたの天のは衣うちかさねぬるよすずしき秋風ぞふく」（新古今集四―三三八）、「風さむみなく秋虫の涙こそくさば色どるつゆとおくらめ」（後撰集五―二六三）「秋風のさむくふくなるわがやどのあさちがもとにひぐらしもなく」

ロギが鳴き始め、群生する萩もあちらこちらで花をつけ始めた。

【語釈】

涼風 （秋に吹く）涼しい風。本集五三番詩【語釈】該項参照。異文

「涼颺」も、涼しい風のこと。「颺」については、本集四三番詩【語釈】を参照のこと。両語は類義同声のため他の作品でも異文関係を持つことが少なくない。班婕妤「怨歌行」に「常恐秋節至、涼風奪炎熱」（『文選』卷二七）とある「涼風」も、早く『玉臺新詠箋註』が「涼颺」の異文を録することなどはその一例。

忽扇

「扇」については、風があるものに吹きつけること。本集四四番詩【語釈】該項参照のこと。「忽扇」とその異文「急扇」とも用例を知らないが、岑参「感遇」詩に「北山有芳杜、靡靡花正発。未及得采之、秋風忽吹殺」とあり、温庭筠「過西堡塞北」詩に「霜清徹兔目、風急吹鵬毛」とあるところを見ると、「忽扇」

は風がいきなり、それと気付かぬ間に吹くこと、「急扇」は、風が激しく吹くことを表すだろう。承句に「早来」と時間をいう語があり、和歌にも「にはかにも」とあるところから、「忽」が優る。ただし、それは漢字の原義からすればということであって、作者が「にはかにも」という言葉から、漢字「急」を直感的に用いた可能性も否定できない。

物

先哀 「物」とは、本詩の場合、後半の「壁蜚」や「叢芽」を指すことになる。涼やかな風を感じたときに、真つ先に心に浮かんでは哀しみの感情であったということ。「悲哉秋之為氣也、蕭瑟兮草木搖落而變衰。：独申旦而不寐兮、哀蟋蟀之宵征」（『楚辭』九弁）などを挙げるまでもなく、悲秋の感情は漢文学に古く広く通底する感情。異文「衰」も、晋・傅玄「詩」に「蕭蕭秋氣升。淒淒万物衰」とあるように、意味上は成立

しないものではないが、押韻上非。なお、【補注】を参照のこと。

是

きつとくに違いない。本集一三番詩・一六番詩【語釈】該項参照。

為秋氣早来

「秋氣」とは、秋のひんやりともの寂しい気配。秋の寒く厳しい氣候。魏・文帝「燕歌行六解」詩に「悲風清厲秋氣寒、羅帷徐動經秦軒」とあり、崔湜「襄陽早秋寄岑侍郎」詩に「江城秋氣早、旭日坐南闌」、崔涯「竹」詩に「幽院独驚秋氣早、小門深向緑陰開」とあり、

〔拾遺集一七一―一二三〕「いまよりは秋風さむくなりぬべしいかでかひとりながきよをねん」(新古今集五―四五七)などのように、同じ秋風に対して見られる。「涼し」と「寒し」とでは、温度の低さおよびそれによる快・不快の違いがあるが、以上の例にはそのような明確な差があるとは言いがたく、あえて違いを挙げれば、「涼し」には「夏の夜もすずしかりけり月かげにはしろたへのしもとみえつつ」(後拾遺集三―二二四)のように夏の風についても、「寒し」には「夜をこめて谷の戸ぼそに風さむみかねてぞしるきみねのはつ雪」(千載集六―四四六)のように冬の風についても用いられる点である。

吹きぬるか

【校異】に示したように、他集所載の同歌では「なりぬるか」あるいは「なりゆくか」という本文になっている。「吹く」と「なる」を、第二句の「涼しく」との関係において考えれば、両者の意味の実質性の差から、相対的に「なる」の方が「涼しく」に重きが置かれることになり、その方が本歌の趣意にも叶っているといえる。なぜなら、本歌において問題なのは、風が吹くこと自体ではなく、風が涼しいことだからである。なお、岩波新古典大系の後撰集の同歌に対する注には「秋たつ」とは秋が行動をおこすこと。「風たつ」も風が行動をおこすこと」とあり、第四句の「秋立つ日とは」の「立つ」が風にも関与することを示唆している。ただし、「立つ」が風について用いられるのは、万葉集・八代集では「古衣打棄つる人は秋風の立ち来る時に物思ふものそ」(万葉集一一―二六二六)と「あはれいかにくさばの露のこぼるらむ秋風たちぬみやぎのの原」(新古今集四―三〇〇)が見られる程度であり、その発生・現象を表すのはもっぱら「吹く」である。

秋立つ日とは

本文「立秋」を返読して「秋立つ」と訓むのは、本集四番歌の「立春者」を「春立てば」と訓むのに倣ったものである。「立秋」は二四節氣の一つであり、本歌の場合「日」と特定されることから、それが暦日上、秋という季節の最初の日を表すこととなる。「秋―立つ」という表現は万葉集・八代集とも用例が認められるが、とくにその日が意識されたものとしては、「秋立ちて幾日もあらねばこの寝ぬる朝明の風は手本寒しも」(万葉集

藤原史「遊吉野二首其二」詩に「夏身夏色古、秋津秋氣新」(『懷風藻』)、嵯峨帝「神泉苑九日落葉篇」詩に「熙熙春心未傷尽、憺忽復逢秋氣悲」(『文華秀麗集』卷下)、菅原道真「戊子之歳八月十五日夜陪月臺各分一字」詩に「詩人遇境感何勝、秋氣風情一種凝」(『菅家文章』卷一)とある。

壁蜚

家の壁で鳴くコオロギ。本集四三番詩【語釈】該項参照。

家々

家々で。本集六番・三〇番・三八番詩【語釈】該項参照。音

始乱

「音」は、当然「壁蜚」の鳴き声。蕭子範「夏夜独坐詩」に「虫

音乱塔草、螢光繞庭木」とあるものの、盧象「永城使風」詩に「虫声出乱草、水氣薄行衣」、曹鄴「翠孤至渚宮寄座主相公」詩に「開戸山鼠驚、虫声乱秋草」とあるように、中国では虫の音は「声」で表すのが一般。

「音」と「声」との相違については、三〇番詩【語釈】該項に既述した通り。「音乱」とは、音があちこちで聞こえること。蘇頌「饒沢州盧使君赴任」詩に「平蕪寒蜚乱、喬木夜蟬疏」、韋応物「效何水部二首其二」詩に「夕漏起遙恨、虫響乱秋陰」とある。

叢芽

群がり生える萩。劉

孝標「弁命論」に「顔回敗其叢蘭、冉耕歌其茱萸」(『文選』卷五四)、

紀齊名「園菊飽霜花」詩に「如戴白翁携畝竹、似施粉妓傍叢蘭」(『類題

古詩』飽)、張協「雜詩十首其二」詩に「飛雨灑朝蘭、輕露棲叢菊」(『文

選』卷二九)、紀齊名「蕭条秋後色」詩に「四五株楊経雨色、兩三叢菊

飽霜花」(『新撰朗詠集』初冬)などである、「叢蘭」「叢菊」と同じ語構

成の言葉。ただし、その用例を知らない。

処処

あちこちで。本集六

番・三〇番・三八番詩【語釈】該項参照。

萼初開

「萼」は、花びら

を支えるガク。時に花の意でも用いられる。四九番詩【語釈】参照。異

文「蕊」とは、『楚辭』離騷に「擘木根以結茝兮、貫薛荔之落蕊」(『文

選』卷三二)とあり、五臣注に「蕊、花心也」とあるように、花の雄し

べ雌しべのこと。そこから広く王筠「和吳主簿六首 遠望二首其二」詩

に「双眉偏照日、独蕊好繁風」(『玉臺新詠』卷八)、白居易「陵園妾」

詩に「眼看菊蕊重陽淚、手把梨花寒食心」とあるように、花の意味とし

ても用いられる。高丘五常「載酒訪幽人」詩に「黃蕊初開唯滿把、白衣

乍到更浮觴」(『類題古詩』訪)とある。

八―一五五五）や「とことはにふくゆふぐれのかぜなれどあきたつ日こそすずしかりけれ」（金葉集三―一五六）「つねよりもつゆけかりつるこよひかなこれやあきたつはじめなるらん」（詞花集八―二四二）などある。一般に秋の到来を表す動詞としては、万葉集では「さる（去）」、八代集では「く（来）」が多く用いられ、八代集において「秋立つ（日）」を含む詞書を有する歌においても、「あききぬとめにはさやかに見えねども風のおとにぞおどろかれぬる」（古今集四―一六九）「うちつけにたもとすずしくおぼゆるはころもに秋はきたるなりけり」（後拾遺集四―二三五）「あききぬとききつるからにわがやどの荻のはかぜの吹きかはるらん」（千載集四―二二六）などのように、「く（来）」が用いられている。「むべも言ひけり」「むべ」およびその表記については本集一二番歌【語釈】「鶯はむべも鳴くらむ」の項を参照。「むべ（うべ）」が「言ふ」と結び付く例は万葉集にはないが、八代集には「吹くからに秋の草木のしをるればむべ山かぜをあらしといふらむ」（古今集五―二四九）「とどめあへずむべもとしとはいはれけりしかもつれなくすぐるよはひか」（古今集一七―八九八）「ことごとかなしかりけりむべしこそ秋の心をうれへといひけれ」（千載集五―三五一）などあり、当該の言葉とその指示する事柄との一致に対する納得を表す表現になっている。本歌においては、暦日上の言葉である「立秋日」が『礼記』月礼篇の「孟秋月」を規定する「涼風至、白露降、寒蟬鳴」の「涼風至」と一致することに対する納得を表現している。

【補注】

実際の季節に先立つ「立秋日」を詠む本歌は、後撰集においては、それにふさわしく巻五の秋上の冒頭歌になっているのに対し、本集秋部においては半ばすぎに位置している。もともと、すでに「白露の織りいだすはぎの下黄葉衣にうつる秋は来にけり」（四九番）という歌もある。

【比較・対照】

本歌の大筋は詩の前半に尽くされていると言える。というより、詩の後半の「壁蜚」や「叢芽」という秋の自然素材は、本歌にはそもそも取り上げられていない。歌では風のみ焦点をしばっているのに対して、詩では秋の始まりを示すものとして、それらも加えているとしたら、詩全体としても

【補注】

韻字は「哀」「来」「開」で上平声十六吟韻。平仄にも基本的誤りはない。

起句に「物先哀」と言つて、後半二句にその例として「壁蜚」の声と「叢芽」の開花を言うのは、中国的な季節感からすれば、矛盾するものとなる。というのは、異文「物先衰」の存在を言うまでもなく、中国における秋の悲哀は動植物は秋になれば皆零落することに対して抱く思いだからである。その意味では、本詩に言う「物先哀」の「かなし」とは、たぶん元来自分では抑えられない痛切な感情を表したとされる和語の「かなし（愛し）」に近い意味を担っていると言ふべきだろう。

り、秋を特徴付ける「風」も部立冒頭の四三番歌をはじめとして何首かに見られるけれども。

本歌における表現上のポイントは、古代和歌に稀な「にはかに」であろう。一年を通して吹く風が涼しいと感じられるのが「にはかに」であり、それと合わせて「立秋」というその一日を境として夏から秋に季節が変わることが「にはかに」なのであって、その事態・現象の生起を表す「たつ」はまさにこの「にはかに」に適していると言える。

表現の展開としては、急に風を涼しく感じたことから、その日が「立秋」であることに思い当たり、納得するという順序になるが、実際の季節としてはまだ夏であることを考えれば、むしろ一種題詠的に「立秋」が先行し、『礼記』を下敷きとして、それをあたかも実感したかのように構成し直したと推定される。「むべも言ひけり」という結句の詠嘆も、実感的というよりも「秋立つ日」という言葉をきっかけとした機知的な発想を示していると考えられる。

本歌に対応していると言える。

ただし、本歌の趣意はまさに「立秋」という、いわば観念上の明確な季節の区切りにあるのであって、詩の前半もその点は説明的に曖昧になっている。また、起句の「物先哀」というのは、本集五七番【比較・対照】でも述べたように、詩における「悲秋」という観念をふまえたものであるが、歌はむしろ悲哀の感情よりも機知的な趣向を旨としているのであって、詩の定番にならって表現したにすぎないように思われる。実際、詩の後半の素材が「物先哀」を具体的に裏付けるように表現されているとはみなしがたい。

64 秋芽之 花開丹芸里 高猿子之 尾上丹今哉 麝之鳴濫

秋はぎの 花さきにけり 高さこの 尾上に今や しかの鳴くらむ

【校異】

本文初句の「芽」を永青文庫本は「苛」とし、第二句の「開」と「芸」を永青文庫本および久曾神本はそれぞれ「析」と「介」とし、第三句の「猿」を永青文庫本・久曾神本および類従本・林羅山本・無窮会本は「狹」とし、結句の「麝」を永青文庫本・久曾神本および類従本は「麋」、天理本は「鹿」とする。

訓みにとりたてて異同は見られない。

同歌は、寛平御時后宮歌合および是貞親王歌合にはないが、古今集に(巻四、秋歌上、二一八番)「これさだのみこの家の歌合によめる 藤原としゆきの朝臣」として(ただし第四句から結句「をのへのしかは今やなくらむ」、古今和歌六帖(巻六、草、秋はぎ、三六三三番)にも「としゆき」として見られる(ただし第四句から結句「をのへのしかはいまや鳴くらん」)。

【通釈】

秋萩の花が咲いたなあ。高砂の丘の上で今頃は鹿が鳴いていることだろうか。

【語釈】

秋はぎの 「はぎ」およびその表記については四九番歌【語釈】「織りいだすはぎの」の項を参照。ハギは秋に花が咲く植物であり、「秋はぎ」という語はその季節を強調した歌語と言えよう。ハギは万葉集の植物の中でもっとも多く詠まれ、その大半は巻一〇と巻一二に集中する。

64 三秋有蕊号芽花。 三秋に蕊有り芽花と号す。

麝子鳴時此草奢。 麝子鳴く時此の草奢る。

雨後紅句千度染、 雨後に紅に句ひて千度染め、

風前錦色自然多。 風前に錦の色自然から多し。

【校異】

「有蕊」を、京大本・大阪市大本・天理本「有葉」に作る。「芽花」を、永青文庫本・久曾神本「苛花」に作る。「錦色」を、底本等「金色」に作るも、いま類従本・和学講談所本・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。

『新撰朗詠集』秋・萩に起承句が収載されるが、冒頭部は「一秋有蕊」に作る。

【通釈】

秋にはハギという名の花が咲く。鹿の子供が鳴くときにその草は最もきれいに咲くことになる。雨が降った後にはその花が傍らを通る者の衣を何度も紅色に染め、風が吹けば(色とりどりの花が揺れて)ひとりでにたくさんの美しい錦の織物のように見える。

【語釈】

三秋 秋というに同じ。本集一四番詩【語釈】該項参照。異文「一秋」は、杜甫「留別賈嚴二閣老兩院補闕」詩に「一秋常苦雨、今日始無雲」とあるなど、「秋」とほぼ同じ意味に用いられることがあるが、「三秋」に比べて極めて珍しい語。また、本集には「三春」(一一番、一八番)、「三夏」(三四番、四二番)、「三秋」(一四番、六六番)、「三冬」(八一番、八二番)とある。それに対して「一夏」(二六番)の語は、仏教語

語としては「秋はぎ」の方が「はぎ」よりも多く、八代集ではほぼ同程度用いられていて、意味・用法上の違いはとくに認められない。

花さきにけり

これを一句とする歌は、万葉集に五例、八代集に六例見られるが、ハギに関しては、「恋しくは形見にせよと我が背子が植ゑし秋萩花咲きにけり」（万葉集二〇一二一九）「見まく欲り我が待ち恋ひし秋萩は枝もしみに花咲きにけり」（万葉集二〇一二二四）の二例ある。

また、初句からのつながりで「秋はぎの花」という、「花」を焦点化した表現は、万葉集では「秋はぎ」八〇近くの例のうち二例、八代集では同じく四〇例ほどのうちの四例しかなく、しかも「我が岡の秋萩の花風をいたみ散るべくなりぬ見む人もがも」（万葉集八一五四二）や「秋はぎの花もうゑおかぬやどなればしかたちよらむ所だになし」（拾遺集一九一二二三）などのように、直接「咲く」とは結び付けられていない。

高さの

「たかさご」は普通名としては、砂の高く丘のようになった所の意であり、固有名（地名）としては今の兵庫県南部の加古川河口西岸の地域をいう。万葉集にはどちらの意味でも用例はなく、古今集以降は三〇例近くあり、その多くは「かくしつ世をやつくさむ高砂のをのへにたてる松ならなくに」（古今集二七九〇八）「みじか夜のふけゆくまに高砂の峰の松風ふくかとぞきく」（後撰集四一六六七）「ふゆされば嵐のこゑもたかさこの松につけてぞきくべかりける」（拾遺集四一二三六）などのように、「松」を伴い、歌枕として用いられている。古来、古今所載の同歌の「たかさご」について、普通名か地名か説が分かれてきたようであるが、古今仮名序の「たかさごすみの江のまつもあひおひのやうにおぼえ」という一節があることや、普通名とすると次の「をのへ」も普通名とせざるをえず、両者の意味関係が不整合となることなどから、地名とするのが妥当と考えられる。マツの他に、「たかさご」と共に詠み込まれる植物としては「山守はいはばいはなん高砂のをのへの桜折りてかざさむ」（後撰集二一五〇）「たかさこのをのへのさくらさきにけりと山のかすみたたずもあらなん」（後拾遺集一一二二〇）などのようにサクラは見られるが、ハギの例は見当たらない。一方、動

としての用法。有蕊「蕊」は、花のこと。本集六三番詩「萼初開」

の項参照。異文「葉」は、「蕊」の俗字「葉」からの誤写であろう。ここでは「蕊」を正字と見て本文に採用したが、底本始め諸本は元来ほとんど「葉」に作る。萩が秋の代表的植物とされるのは、その紅葉を詠う例が皆無ではないけれども、開花の時期のゆえと考えられるからであり、下にも「号芽花」とある。

号芽花

「号」は、名付けること、または、

その名。動詞とも名詞とも解釈できる。本集四二番詩【語釈】該項参照。そこでも指摘したが、本集には「三夏鳴禽号郭公」（四二番）、「秋嶺有花号女郎」（七二番）、「眼前貯水号瑤池」（七九番）の類句がある。「芽」は、本集四九番の和歌と漢詩の【語釈】を参照のこと。本集には「芽花艶艶葉零零」（七七番）とある。なお、【補注】も参照のこと。

麝子

「麝」とは、まだ子供の鹿のこと。『礼記』内側に「秋宜懐麝、膳膏腥」とあり、鄭玄は「麝、音迷、鹿子也」と注する。元稹「青雲賦」詩に「山鹿藏窟穴、虎豹吞其麝」とある。「子」は口語で、小さいものを表す名詞のあとに付ける接尾語。ただし「麝子」の語例を知らない。用例も少ないこの語がわざわざ選ばれたのは、和歌の原文にある「麝」字の故以外に考えられないだろう。

鳴時

本集にも「郭公処々数鳴時」（三〇番）とあった。隋・楊素「贈薛播州詩十三」に「秋水魚遊日、春樹鳥鳴時」、劉允濟「詠琴」詩に「昔在龍門側、誰想鳳鳴時」とある。

此草「奢」は、華麗に咲き誇るの意。本集九番・四一番詩【語釈】該項参照のこと。

雨後 雨のやんだ後。本集四九番詩【語釈】該項参照。

紅匂

「紅」は、萩の花の色を指す。本集四九番詩に「秋芽一種最須憐、半萼殷紅半萼遷」とあった。「匂」に関しては、二番・三番詩【語

釈】該項を参照のこと。ここは、色美しく映える意。

千度染

随分時

代的には下ることになるが、「けさきつるのぼらのつゆにわれぬれぬうつりやしぬるはぎが花ずり」（後拾遺集四・三〇四）、「夏ころもすその原をわけゆけばおりたがへたる萩が花ずり」（千載集三・二二九）、「心をは千草の色にそむれとも袖に移るは萩か花ずり」（千載集四・二五〇）、「かり衣われとはすらじ露しげき野原の萩の花にまかせて」（新

物としてはシカのみで、「さをしかのつまなきこひを高砂のをのへのこ松ききもいれなん」(後撰集一四一・一〇五六)「あきはなほわがみならねどたかさごのをのへのしかもつまぞこふらし」(後拾遺集四二・二八七)など、七例見られる。**尾上に今や** 「をのへ」は普通名としては「を

(峰)十の十うへ(上)」つまり山の高い所を表し、地名としては今の兵庫県南部の加古川河口東岸の地域をいう。万葉集には「絶等寸の山の峰の上の桜花咲かむ春へは君し偲はむ」(万葉集九一・一七七六)「木の暗の繁き峰の上(乎乃倍)をほととぎす鳴きて越ゆなり今し来らしも」(万葉集二〇一・四三〇五)などのように、普通名として用いられている。八代集には二三例見られるが、「くれゆけばあさぢがはらのむしのねものをのへのしかもこゑたてつなり」(後拾遺集四二・二八一)「秋のよはおなじをのへになくしかのふけゆくまにちかくなるかな」(千載集五・一三〇九)「たぐへくる松の嵐やたゆむらん尾上にかへるさをしかの声」(新古今集五・四四四)などのように、特定の地名と結び付かない単独の普通名としての用法が大半である。それに対して、「さをしかのつまなきこひを高砂のをのへのこ松ききもいれなん」(後撰集一四一・一〇五六)「秋風の打吹くごとに高砂のをのへのしかのなかぬ日ぞなき」(拾遺集三一・一九一)「あきはなほわがみならねどたかさごのをのへのしかもつまぞこふらし」(後拾遺集四二・二八七)などのように、「たかさごのをのへ」という表現をとるものをはじめ、「たかさご」と「をのへ」を共に詠んだ例が七例見られる。「たかさご」を地名とした場合、「をのへ」は普通名とみなしてもよさそうであるが、そもそも「たかさご」の地域は河口近くのならかな丘陵地であって、普通名としての「をのへ」の、山の高い所という語義にそぐわない。とすると「をのへ」もまた地名であって、「高さごの尾上」は加古川をはさんだ河口の東西両岸一帯を表すと考えるのが合理的であろう。それによって「高砂の松にすむつる冬くればをのへの霜やおきまさるらん」(拾遺集四二・二三七)「たかさごのたかくないひそむかしきしをのへのしらべまづぞこひしき」(後拾遺集一九一・一〇六)のように、一続きではなく、別々に詠まれた例が存する

古今集四・三二九)とあるところから、萩の花が見る人の裾や袖を紅に染めるものと解釈しておく。**風前** 風の吹いてくる正面。風が当たるところ。本集一七番詩【語釈】該項参照。**錦色** 錦のような艶やかな色。孔範「賦得白雲抱幽石詩」に「帶蓮紫錦色、弘鏡下仙衣」、賈賓王

「秋晨同淄川毛司馬秋九詠・秋水」詩に「函雲錦色淨、写月練花明」、林娑婆「賦桃応令」詩に「紅華媚日紅逾煥、錦色須霞錦更鮮」(『経国集』卷十一)とある。ここは「かひもなき心ちこそすれさをしかのたつ声もせぬ萩のにしきは」(後拾遺集四二・二八三)、「秋の野の萩の錦は女郎花立ちまじりつつ織れるなりけり」(貫之集)、「山ごとに萩の錦をおればこそ見るに心のやすき時なし(千里集)のように、和歌には萩の花の盛りを錦で比喻する表現があるので、それを応用したものと考える。異文「金色」は、太宗皇帝「秋日二首其二」詩に「露凝千片玉、菊散一叢金」、李嶠「菊」詩に「玉律三秋暮、金精九日開」、島田忠臣「惜秋翫殘菊応製」詩に「一叢寒菊咲千金、夜翫殘榮秋欲深」(『雑言奉和』)とあるのを初めとして、菊の花の形容に用いられるのが一般。**自然多** 「自然」は、ひとりでの意。本集一六番詩【語釈】該項参照。

【補注】

韻字は「花・奢」(下平声九麻韻)「多」(下平声七歌韻)であり、九麻は独用であるので押韻に傷がある。平仄には基本的誤りはない。

ちなみに、「萩」は、『説文解字』が「萩、蕭。从艸、秋声」というように、キク科の多年生植物である、カワラヨモギのこと。『新撰字鏡』(天治本)に「萩、七由反。蒿、蕭類也。波支、又伊良、『和名抄』に「鹿鳴草、爾雅集注云、萩、一名蕭」とあるところを見ると、狩谷棧斎(『箋注和名類聚抄』鹿鳴草)や白川静(『字通』萩)などがいうように、本国での用法とは別に、「椿」や「柊」と同じように、単にそれぞれの季節の代表的な花としたとは考えにくい。あるいは、寺井泰明が「椿」について言うこと——中国では非実在で長寿の象徴であった「椿」を日本固有種にあてはめる——に類似するようなことがあったのかも知れない(『花と木の漢字学』大修館書店)。ハギは草と木を指すことがあると

ことも了解しうる。ただし、この解釈は現地の地理を知っていることを前提としたものであって、もし「たかさご」という地名がマツやシカの名所という歌枕として言葉の上でしか認識されていなかったとすれば、実態とは別に「をのへ」を山の高い所とイメージしていたことも十分に想像できることである。

しかの鳴くらむ

「しか」については、五七

番歌【語釈】「鳴くしかの」の項および六〇番歌【語釈】「恋するしかの」の項を参照。本文の「麋」字については、本詩【語釈】該項参照。ただし、その本来の字義が本歌に反映しているとは考えにくい。歌末の「らむ」という助動詞は、第四句末の「今や」とあいまって現在推量を表す。すなわち「しかの鳴く」ことは非現前であり、その推量の根拠となるのは現前の「秋はぎの花さきにけり」である。シカとハギを男女の関係とみなす発想は既出歌で述べたように、万葉集歌から認められるものであって、本歌もその発想に基づき、都から遠く離れた高砂・尾上でもハギが咲き、シカがそれを求めて鳴くことを推量したのである。もともと、先に触れたように、高砂を詠む歌にはハギの例は認められないが、小学館古典文学全集の古今集では、同歌に対して「秋萩の花がきれいに咲いた都だつてこのとおりきれいなだから、あの風光明媚の高砂の尾上は推して知るべしだ。鹿がその花を喜び、今しきりに鳴いているのではなからうか」と解釈している。

【補注】

【校異】に示したように、本歌の下句「尾上に今やしかの鳴くらむ」が他集では「尾上のしかは今や鳴くらむ」となっている。他集本文では「しか」が「今や」よりも前に出て、しかも「は」によって主題化されている、ハギとシカを対比的に際立たせるためにはこの方が効果的であろう。一方、本歌本文では相対的に「今」という時間に重点が置かれていて、ハギとシカよりもむしろ、歌を詠んでいる現前の場合と高砂・尾上という非現前の場合との対比の方が意識されているように受け取れる。↘

いうが、『漢書』の顔師古注には、「萩」は「楸」と同じだとするものがあり（貨殖伝、東方朔伝）、それらとも関係があるかもしれない。なお、『播磨国風土記』揖保郡の萩原の里の条に、「一夜之間、生萩一根、高一丈許、仍名萩原」とある。

ハギは庭植えもされるから、里でも目に付きやすいのに対して、シカは山中に棲むので、その存在はもっぱら鳴き声によって確認されるものであった。それにしても、なぜ推量するシカがいる場所が、高砂・尾上でなければならなかったのか？ たとえば京の都においても、「夕されば小倉の山に鳴く鹿は今夜は鳴かず寝ねにけらしも」（万葉集八一―五一）、「ゆふづく夜をぐらの山になくしかのこゑの内にや秋はくるらむ」（古今集五―三二二）「をぐら山たちどもみえぬゆふぎりにつままどはせるしかぞなくなる」（後拾遺集四―二九二）などのように、シカの名所としては近場の小倉山でもよかったはずである。

ハギとシカの関係でもう一つ気になることは、「奥山に住むといふ鹿の夕去らず妻問ふ萩の散らまく惜しも」（万葉集一〇―二〇九八）「秋萩の散り行く見ればおほほしき妻恋すらしき雄鹿鳴くも」（万葉集一〇―二一五〇）や「あきはぎのさくにしもなどしかのなくうつろふはなはおのがつまかも」（後拾遺集四―二八四）などのように、シカが、【語釈】で取り上げた小学館古典文学全集の解釈のようにハギの咲くのを喜んでではなく、ハギの散るのを惜しんで鳴くという歌が多く見られるという点である。

これらから考えられることは、本歌が「今」という時間において、現前の場合と非現前の場合とを対比しているとすれば、都で咲き始めたハギが高砂・尾上では散りかかっていると想定したのではないかということである。

【比較・対照】

本歌はハギとシカという取り合わせにおいて、後者に重点を置く形で表現が構成されているに對して、詩はほぼ全体がハギを歌ったものであり、シカは承句に時期を示す物として登場するにすぎない。しかし、秋の詩一般において、ハギが取り上げられることはほとんどないとしたら、本詩における、このようなハギに対するこだわりは、歌からも本来の詩からも離れて、まさに日本漢詩として成り立っているということになる。そもそも起句の「号芽花」という、ことさらに表現は、本来の詩では通用しえず、万葉集の歌において「芽」を「はぎ」と訓ませたことに由来することを示すに他ならない。

なぜこのような詩になってしまったかを推測するに、本集六〇番【比較・対照】にも述べたように、詩では、ハギはもとよりシカも素材とされることが少なく、したがって両者の取り合わせという発想もないのであるから、六〇番詩がそうだったのと同じく、自然素材を捨てて人事に切り替えるか、あるいは無理を承知で素材のどれかを生かして、とにかくそれでまとめるか、のどちらかにしかなく、結果的に後者を選択したのではないだろうか。シカではなくハギにしたのは、詩にはよりなじみのないハギの方が詩的なイメージの制約が少なかったからではないかと考えられる。

なお、詩後半の「雨後」と「風前」の対比は、本集四九番詩の後半と同工異曲であり、違いは本詩では萩の花をめぐる対句にしている点である。もとより歌においては、このような対比はまったく認められず、詩特有の表現方法をとっていると言える。

(平成一六年六月一八日受理)

〔注〕本稿は、『共立女子大学文学部紀要』第四〇集～第五〇集(平成六年二月～平成十六年一月)および『東京工業高等専門学校研究報告書』第二六号～第三五(二)号(平成六年十二月～平成十六年一月)の続稿である。

東京工業高等専門学校研究報告書

第 36 (1) 号

平成16年度

平成16年9月1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.

