

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(2) 号

2005.1

東京工業高等専門学校研究報告書 第36(2)号 目次

ジェイクと「掟」	岩 崎 健.....	1
ブッシュ大統領のイラク攻撃決定の背景についての一見解	新 堀 孝..... 岩 崎 健	11
東京高専に対する学生の評価	古 屋 正 俊..... 大 澤 昇 小 杉 暁 子 白 崎 由香里	19
The Effect of Low-Temperature Thermal Annealing in the Atmosphere on the Light Emission of Porous Silicon	大 野 秀 樹..... 八木澤 亨 一	25
ハードウェア記述言語と FPGA を用いたマイクロプロセッサ設計教育	大 塚 友 彦.....	29
ネットワーク学習システムの構築構想	青 野 正 宏..... 渋谷 晶 高 野 修 東 健 太 小 嶋 徹 也	33
教育用計算機設計システムの開発について	横 山 繁 盛..... 一コンピュータ教育用 CPU シミュレータ SimTKBC の構築— 鈴 木 孝 市 村 洋	39
高次統計量を用いた独立成分分析のためのオンライン型アルゴリズム	小 嶋 徹 也..... 横 山 結 里 板 垣 智 彦 青 野 正 宏	47
生態毒性試験を用いた廃棄物有害性評価における浸透圧影響	庄 司 良..... 古 儀 さやか 小 野 芳 朗	55

Research Reports of Tokyo National College of Technology No. 36 (2)

CONTENTS

Tatsuru IWASAKI	Jake and “A Code”	1
Takashi SHIMBORI	A View on the Backgrounds of President Bush’s Decision to	11
Tatsuru IWASAKI	Attack Iraq	
Masatoshi FURUYA	On the Evaluation of Students to Tokyo National College of	19
Noboru OSAWA	Technology	
Akiko KOSUGI		
Yukari SHIRASAKI		
Hideki OHNO	The Effect of Low-Temperature Thermal Annealing in the	25
Kouichi YAGISAWA	Atmosphere on the Light Emission of Porous Silicon	
Tomohiko OHTSUKA	Fundamental Education of Microprocessor Design based on	29
	FPGA using HDL	
Masahiro AONO	Framework of Network Learning System	33
Syo SHIBUYA		
Syu TAKANO		
Kenta AZUMA		
Tetsuya KOJIMA		
Shigemori YOKOYAMA	A Computer Design System for Basics of Computer Education.....	39
Takashi SUZUKI	—Development of CPU Simulator for Computer Education—	
Hiroshi ICHIMURA		
Tetsuya KOJIMA	On an On-Line Algorithm for Independent Component Analysis	47
Yuri YOKOYAMA	Using Higher-Order Statistics	
Tomohiko ITAGAKI		
Masahiro AONO		
Ryo SHOJI	Countermeasure of Osmorality Effect to Evaluate the	55
Sayaka KOGI	Ecotoxicological Risk of Municipal Waste by Using <i>Daphnia</i>	
Yoshiro ONO	sp. Immobilization and Algal Growth Inhibition Tests	

ジェイクと「掟」

岩 崎 健*

Jake and “A Code”

Tatsuru IWASAKI

Philip Young says “Jake and the few people he likes have a code”. The man called Jake is a hero in *The Sun Also Rises* (1926). I wonder if Young is right or not, because at first glance Jake doesn’t seem to have any code. But, before I examine if Young is right or not, I have to know what Young means by “a code”. He says “He (the man who has a code) shows, in the author’s (Hemingway’s) famous phrase for it, ‘grace under pressure’”. That is, Young’s code means “grace under pressure”. “Does Jake have any grace under pressure”? In this paper I try to examine if Jake has it in Book I of *The Sun Also Rises*.

(Keyword: code)

フィリップ・ヤングは語る。「ジェイクと、彼が好む2、3の人にはコード（掟）がある」と。

（“Jake and the few people he likes have a code”）。ジェイクというのは、ヘミングウェイの傑作『日は又昇る』の主人公のことである。ヤングの語ることは正しいのだろうか。というのは、一見したところジェイクには掟などないように思われるから。しかしこの問題について考える前に、ヤングの言うコード（掟）というのは何か、まずはこの言葉の定義をはっきりさせておかなければなるまい。コードを持つ人物はコードヒーローである、とヤングは語り、次のように言及する。

The code hero, then, offers up and exemplifies certain principles of honor, courage, and endurance which in a life of tension and pain make a man a man, as we say, and enable him to conduct himself well in the losing battle that is life. He shows, in the author’s famous phrase for it, “grace under pressure.”¹⁾

それ故このコードヒーローは、緊張と苦痛の人生において、言うなれば人間を人間たらしめる誇り、勇気、そして忍耐などの行動指針を、そして人間に勝ち目のない戦い、これが人生なのだが、の中で立派にふるまわせる行動指針を

差し出し、例をもって示す。彼は、この作家の有名な言葉を借りるなら「重圧の下での品位」を示す。

どうやら「コード（掟）」というのは「重圧の下での品位」を示すことであるらしい。では「重圧の下での品位」とは何か。これはヘミングウェイが使った有名な言葉であるという。ところが実際にはヘミングウェイ自身がこの言葉を使っている作品は見当たらない、と石一郎は言う。

「……なお、著者から直接の返事では、出所箇所未詳の由」。だから恐らくこれは『午後の死』

（*Death in the Afternoon*, 1932）の巻末の付録に載っている「闘牛に於ける用語小辞典」からのものであろう、と石は語る。その用語小辞典の *Gracia* の項に、次のような描写が見られる。“*Gracia*: grace and elegance of manner while undergoing danger”（グラシア：危険に出会った時の品の良さと優雅さ）²⁾

では「危険に出会った時の品の良さと優雅さ」とはどういうことなのか。このことについて私は私なりの解釈を持っている。以下に述べるのは拙著『『武器よさらば』の23の謎を追う』からの一節であるが、おおよそこのような解釈で間違っていないだろう、と自負している。もっとも私がここで取り上げる「コード」の持主は女性であるが。

『武器よさらば』の第2部24章で、膝の傷が癒えたフレデリックが戦場へ復帰していく。恋人のキャサリンが彼の出発を見送る。この別れは、もしかすると最後の別れになってしまうかもしれない。その可能性はかなり高い。しかしキャサリンは決してそのことを口にしない。口に出すことによってフレデリックに余計な心配をかけることを恐れている。しかしこの別れがどんなに悲しく辛いものであるかは、彼女のその態度に現れている。

「彼女の顔は馬車の幌の陰にあった」（“Her face was in the shadow from the hood of the carriage”）³⁾。彼女は必死に堪えているのである。その泣き顔を見られないように馬車の幌の陰にいたのである。その陰から彼女は言う。「さよならにしましょう」（“We might as well say good-bye”）。キャサリンのこの言葉に対してフレデリックは言う。「乗って行ってはいけないかい」（“I can't go in?”）。フレデリックはその別れの辛さを乗り切ることができないのである。その辛さを断ち切ることができずに、いつまでもそれにしがみついているようにする。この別れが辛いのはフレデリックよりもむしろキャサリンの方なのである。何しろ彼女は身も心も全てを賭けてフレデリックを愛しているので。しかも彼の子を身籠もっていてもいいので。しかし彼女には自分の運命に敢然と立ち向かっていくだけの勇気がある。「いいません」（“No”）。キャサリンはフレデリックの願いをきっぱりと断る。そして走り去っていく馬車から身を乗り出して手を振る。しかも驚いたことに、彼女は涙ぐんだりしてはいない。たとえキャサリンが涙を見せたとしても、誰も彼女を責めることはできないだろう。その別れの辛さのあまり、フレデリックに「もう少し、もう少し一緒にいてほしい」とせがんでも、誰も彼女を責めることはできないだろう。それなのに彼女は、なんと別れに際してにっこりと微笑んでいる。「彼女はにっこりと微笑み、手を振っていた」（“She smiled and waved”）（158）。胸の中では恐らく血の涙を流していたであろうに。⁴⁾

キャサリンのこのような態度こそ、「緊張と苦痛の人生において、言うなれば人間を人間たらしめる誇り、勇気、そして忍耐などの行動指針を例をもって示」している。つまり「重圧の下での品位」というのは、人が何か危険な、あるいは絶望

的な状況に出会った時に、その人がどのような態度をとるか、ということであり、その態度に人間としての品位が備わっている、ということである。そして、このような解釈はヘミングウェイの「グーラシア：危険に出会った時の品の良さと優雅さ」と同じものになりそうである。

これで「重圧の下での品位」の意味が明らかになったので、論を先に進めることにする。果たしてジェイクは、ヤングが論評しているように「コード」、つまり「重圧の下での品位」を持つ人物なのだろうか。

しかし「コードヒーロー」としてのジェイクを求めて『日は又昇る』を読み始めると、私達は裏切られ、がっかりする。なぜなら私達の目の前に現れたジェイクには、「コードヒーロー」の面影など全くないからである。ジェイクが本格的に登場する第3章はこんな具合に始まる。「暖かい春の夜だった。私はロバートが行ってしまうと、ナポリテンのテラスのテーブルに腰を下ろした」

（“It was a warm spring night and I sat at a table on the terrace of Napolitain after Robert had gone”）（14）⁵⁾。「私」（“I”）というのがジェイクのことである。ジェイクは何をしているのだろうか。彼は夕食の仲間を探しているのである。やがてジェイクの目の前を、これまた適当な客を求めて歩いている売春婦が通りかかる。互いに求めていた同士、二人は一緒に食事をすることになる。私が先程「裏切られ、がっかりする」と述べたのは、何もジェイクが売春婦と夕食を共にする、ということを行っているわけではない。誰と夕食を共にしようと、そんなことは問題ではない。問題なのは、なぜジェイクは一人で夕食を食べることができないのか、ということである。たまには一人で夕食をとってもいいのではないか。というのは、どうやらジェイクはこのパリには少なくとも3年以上生活しており、この後ですぐ分かるように多くの知人たちもいるのだから。なぜジェイクは一人で夕食を食べることができないのか。孤独に耐えられないのだろうか。その人生が充足していないからだろうか。それとも心にぽっかりと空いた空虚感に悩まされているからだろうか。

たしかにジェイクには空虚感に悩まされる下地が十分にあった。「空虚」とは「物事の内容や心の内部が空っぽでむなしいこと」⁶⁾ということ

あるから、「何もなく、むなしいこと」⁷⁾という意味の「虚無」とかなり類似している。従ってここでは「虚無」という言葉を使って説明することにする。なぜなら『日は又昇る』はその見開きのページにある「日は出で、日は入り、またその出し處に喘ぎゆくなり」という言葉に象徴されているように、虚無を扱った作品であると言われているので。そしてジェイクには虚無感に襲われても当然であるという要因があるので。

ジェイクは第一次世界大戦のイタリア戦線で負傷した。それも並の負傷ではない。それは、作中のあるイタリア人陸軍大佐の言葉に的確に表現されている。「外国人であるあなた、イギリス人であるあなた（外国人は皆イギリス人だった）は、命以上のものを捧げてくれたのです」（“You, a foreigner, an Englishman (any foreigner was an Englishman) have given more than your life”）

(31)。そうなのだ、ジェイクはイタリア戦線で、命以上のものを失ってしまったのだ。インポテンツ、性的不能ということは人にどれほどの打撃を与えるものなのだろうか。それは恐らく想像を絶するような絶望状態に人を追い込むものであろう。ジェイクはまさに命以上のものを奪われたのであり、彼の人格全てを否定されるような打撃を与えられたのである。生まれたときからそうであるなら諦めもつくだろう。しかし、青春時代の真っ最中に奪われたのでは諦めはつかない。ジェイクは愚痴る。

My head started to work. The old grievance. Well, it was a rotten way to be wounded and flying on a joke front like the Italian. In the Italian hospital we were going to form a society. It had a funny name in Italian. I wonder what became of the others, the Italians. (31)

私の頭は働き始めた。おなじみの愚痴だ。あゝ、負傷するなんてなんたることだ。それに、イタリア人であるかのように馬鹿げた前線で飛び回っていたなんて、なんたることだ。イタリアの病院で私たちは一つの社会を作ろうとしていた。イタリア語でおかしな名前をつけた。他のイタリア人達は怎么样了のだろうか。

しかし、性的不能者になったということだけだったら耐えることができたかもしれない、とジェイクは言う。「ブレットに会わなかったら、恐らく問題はなかったであろう」（“Probably I never would have had any trouble if I hadn’t run into Brett”）(31)。ところがジェイクはブレットに会ってしまった。どのようないきさつでジェイクがブレットに出会ったのか、そのことについてはこの作品の中では詳しくは書かれていない。ただブレットが戦争中は篤志看護婦だったということを考えると、二人は病院で出会ったのだろうと推測される。とすると二人の関係は、『武器よさらば』のフレデリックとキャサリンのような関係だったのだろう。

いずれにしても、ジェイクはブレットを愛するようになってしまった。ブレットもまたジェイクを愛してしまった。その後二人の愛がどのように進展していったのかは分からない。分かっていることは、その愛が現在も継続しているということである。次の描写が、二人の愛がどの程度のものであるかについて語る。

The street was dark again and I kissed her. Our lips were tight together and then she turned away and pressed against the corner of the seat, as far away as she could get. Her head was down.

“Don’t touch me,” she said. “Please don’t touch me”

“What’s the matter?”

“I can’t stand it”

“Oh, Brett”

“You mustn’t. You must know. I can’t stand it, that’s all. Oh, darling, please understand!”

“Don’t you love me?”

“Love you? I simply turn all to jelly when you touch me” (25–26)

通りは再び暗くなった。私は彼女にキスをした。私達の唇はしっかりと合わさった。それから彼女は顔を背け、できるだけ遠ざかろうと、座席の隅に身体を押しつけた。頭がうなだれていた。「さわらないで」彼女が言った。「お願いだからさわらないで」

「どうしたんだい」

「耐えられないの」

「あゝ、ブレット」

「いけません、分かってるくせに。耐えられないのです。それだけです。ねえ、あなた。どうかお分かりになって」

「私を愛していないのかい」

「愛するですって。さわられるとぐにゃぐにゃになってしまうわ」

「私を愛していないのかい」と問うジェイク。
「愛するですって。さわられるとぐにゃぐにゃになってしまうわ」と応じるブレット。二人が相思相愛であることは間違いない。性的不能者であっても女性を愛することができる、ここからジェイクの悲劇が始まる。彼の愛が成就することはない。彼の愛は常にプラトニックのままで終わる。性的に不能になったことが精神的機能をも阻害しているのならば問題はない。ところが、彼の異性を愛するという精神的機能は全く健全なのである。

二人の愛が決して実ることがないことを知っているジェイクは悲惨である。惨めである。二重の意味で絶望の極みに立たされる。そこで思わず自暴自棄になって、ブレットに言う。「私達ができることは何もありません」(“And there’s not a damn thing we could do”) (26)。だから、「私達はお互いから離れていた方がいいのではないだろうか」(“We’d better keep away from each other”)と。「それに（こんな身で）人を愛するなんて、とても滑稽なんだ」(“And it’s a lot of fun, too, to be in love”) (27)。しかし、表向きはこのように割り切れても、内面的にはそうはいかない。

ブレットと別れ、アパートに帰って一人ベッドに横たわると、内面的な自分が噴き出してくる。

「ブレットも称号を持っている。アシュレイ公爵夫人というわけさ。ブレットなんかくそくらえ。アシュレイ公爵夫人、お前なんかくそくらえ」

(“Brett had a title, too. Lady Ashley. To hell with Brett. To hell with you, Lady Ashley”) (30)。このような呪いの言葉や愚痴が次々と飛び出してくる。

Probably I never would have had any trouble if I hadn’t run into Brett … I suppose she only

wanted what she couldn’t have. … To hell with people. The Catholic Church had an awfully good way of handling all that. Good Advice, anyway. Not to think about it. (31)

たぶんブレットに会わなければ、何の問題もなかったであろう。…彼女は手に入らないものを欲しがっているだけなのだ。…人間なんてくそくらえ。カトリックの教会はこの種のことに對して恐ろしくすばらしい解決法を編み出している。とにかくご立派な忠告さ。そのことについては考えるな、というわけだ。

そしてついにジェイクは、己の運命の重みに耐えかねて泣き出す。このような絶望の極みに置かれたら、人は虚無的になり、無気力になるだろう。たとえジェイクがそのようになったとしても、これを責めることのできる人はいないだろう。それほどにジェイクが陥っている状況は深刻である。ではジェイクはその状況に押し潰されて虚無的になり、無気力になってしまっていたらどうか。

たしかに虚無的になり、無気力になっていると思われることもある。己の運命の重みに耐えかね、孤独であることに耐えかね、先程述べたように、売春婦などに声をかけることもあったようである。しかしジェイクは、それが如何に空しいことであるかすぐに気がつく。

I had picked her up because of a vague sentimental idea that it would be nice to eat with some one. It was a long time since I had dined with a poule, and I had forgotten how dull it could be. (16)

私が彼女を拾ったのは、誰かと食事をしたら素敵だろうという、漠然とした感傷的な思いからだ。売春婦と食事をしたのはずっと以前のことだった。私はそれが如何に退屈なものであるか忘れてしまっていた。

ジェイクのこの言葉には反省の思いがある。反省とは自分を振り返ってみることであり、間違った自分を正そうとすることである。間違った自分を正そうとするということは、あるべき自分の姿

がある、ということである。あるべき自分の姿があるということは、自分を放棄していないということであり、自暴自棄になっていないということである。つまり虚無的に、無気力になっていないということである。さらにこのことは次のエピソードが証明してくれる。

誘った売春婦と食事を終えた後、二人はダンスホールに行く。ダンスをした後、ホールの中はひどく暑かったので、ジェイクは街路からの涼しい風を求めて戸口に立ち、ビールを飲んでいる。そこへ2台のタクシーに分乗した若者たちがやってくる。彼らの姿を見たジェイクはどういうわけか突然怒り出す。

I was very angry. Somehow they always made me angry. I know they are supposed to be amusing, and you should be tolerant, but I wanted to swing on one, any one, anything to shatter that superior, simpering composure. (20)

私は大変怒った。どういふわけか彼らはいつも私を怒らせた。彼らが楽しんでいるつもりらしいことは分かっている。大目に見てやらなければならない。でも私は、誰でもいいから、何でもいふから、殴りかかっていって、あの高慢な、にやにや笑いをした、取り澄ました態度を打ち壊してやりたかった。

「怒る」とはどういうことであろうか。「自分の意に反するものの存在によって感情が苛立ち荒れる」⁸⁾ということであろう。ということは、ある意図が自分の中にあり、その意図を傷つけられたり、あるいはその意図から外れたりしていることに由くと、感情が爆発するということであろう。従って、虚無的になっていたり無気力だったりしたら、「怒る」ということはないであろう。

ではジェイクは若者たちの何に対して怒ったのだろうか。ジェイクは言う。「あの高慢なにやにや笑いをした、とりすました態度をぶちこわしてやりたかった」と。「高慢」「にやにや笑い」そして「とりすました」という姿から連想するものは、「にやけた若者」である。そういえば彼らは「白

い手」(“white hands”) (20)、「ウェーブのかかった髪の毛」(“wavy hair”)、「白い顔」(“white face”)をしている。さらにダンスをしている時には「尻を大きく振って」(“big-hippily”) いたという。これはまさに「にやける」という意味の「女のように弱々しく色っぽい様子」を⁹⁾している姿であろう。どうやら彼らのこのにやけ振りがジェイクを怒らせているようだ。

ではなぜジェイクは若者たちのにやけた態度が気に入らないのか。なるほどジェイクは、時には孤独になり虚無的になって、食事仲間として売春婦を誘ったり、あるいは自分の運命の重みに屈して運命を呪ったり、愚痴をこぼしたり、挙げ句の果てには泣き出したりして、自分の運命から逃げようとする。しかしジェイクは知っている。人間は決して自分自身の運命から逃げられないことを。自分自身から必死になって逃げようとしているコーンに向かってジェイクは言う。「あなたはどこへ行こうとも自分自身からは逃げられないのです」(“You can't get away from yourself by moving from one place to another”) (11)。

若い男性なのに、若い女性であるかのように振舞っている。ジェイクにはこれが許せない。なぜこの「白い顔」「白い手」をした若者たちが、若い女性であるかのように振舞っているのだろうか。この『日は又昇る』の舞台は第一次世界大戦後間もない1925年頃のパリであるというから、幼くして戦争の悲惨さを知った彼らが現実を直視できず、自分をごまかし虚無的になり、若い女性であるかのように振舞っているのかもしれない。しかし、「どこへ行こうとも自分自身から逃げられない」ことを知っているジェイクには、自分を正視できず自分をごまかしている彼らが許せないのであろう。しかしこれだけの理由でこんなに怒るだろうか。「一体どうしたんだ。何かにすっかり興奮しているように思われるが」(“What's the matter with you? You seem all worked up over something”) (21) とコーンに聞かれたジェイクが答える。「何でもない。ここの全てのことが私の気分を悪くさせるのだ」(“Nothing. This whole show makes me sick is all”)。

「ここの全てのことが私の気分を悪くさせるのだ」とジェイクは言う。では、ここの全てにあるものとは何か。それは例の「白い手」、「白い顔」

をした若者たちにほのめかされていたように「虚無的な雰囲気」ではなかっただろうか。ここに集まっている人たちはみんな虚無的であり、退廃的である。例えば、ジェイクが心から愛しているブレット。どういういきさつがあつてか、彼女は何とジェイクの怒りを買った例の「白い手」「白い顔」の若者たちと一緒にの車に乗ってここにやってきた。しかも彼らと一緒にいて何の違和感もなかったというのである。「彼らと一緒にブレットがいた。彼女はとても美しく見えた。そして彼女は彼らとまさに一緒だった」(“With them was Brett. She looked very lovely and she was very much with them”) (20)。

たしかにブレットも虚無的にならざるを得ない過去を持っている。彼女も暗い過去を背負っている。彼女は戦争中篤志看護婦だったという。その頃彼女には心から愛する人がいたらしい。しかし、その心から愛していた人は赤痢で死んでしまったのである。このことだけでもものすごいショックを受け、精神的にかなり傷ついたはずである。その傷は恐らく彼女の魂に深く刻まれたことであろう。ところが、その傷をさらに痛めつけられるような経験を彼女は持つ。この後ブレットが結婚したのはアシュレイという男だが、これがとんでもない男で、たぶん精神に異常を来していたのだろう、ブレットをいつも床の上で眠らせ、しまいには彼女を殺すと言って軍用ピストルを持って寝ていたという。だからブレットは彼が寝込んだらいつもピストルから弾丸を抜かなければならなかった、という。こんな男と生活を共にしていたら気がおかしくならない方が変である。というわけで、彼女にはかなり常軌を逸したところがある。まるで物に憑かれたかのように酒を浴びるほど飲み、男を追い回す。それはちょうど生きるための食物を求めているかのようである。ブレットには、忌まわしい過去を忘れ、魂の安らぎを与えてくれるものが是非とも必要だったのだろう。そう、過去の己の全てを消し去り、現在の己の全てを焼き尽くす対象が、彼女には不可欠だったのだろう。だから、もし愛するジェイクが性的不能者でなかったら……と考えて、ブレットは虚無的にならざるを得ない。ジェイクが性的不能者であったことが彼女の虚無感に拍車をかける。だからこそ「白い手」「白い顔」の若者たちと戯れ、ダンスに興ず

るブレットではあるが、ひとたびジェイクと二人だけになると、思わず本音を洩らしてしまうのであろう。「ねえあなた、私とても惨めだったの」(“Oh, darling, I’ve been so miserable”) (24)。

他の人たちはどうなのだろうか。コーンと結婚したがっているフランススという女がいる。本当に愛しているからではなく、打算からである。しかし彼女の計算は狂いつつある。そのことに危機感を感じ、愚痴をこぼす。そして過去を悔いる。

「わたしはもっと分別を持つべきだったわ」(“I ought to have known better”) (48)。彼女には未来は望めない。未来を閉ざされるとき、人は虚無的になる。その他、自分自身から必死に逃げようとしているコーンが虚無的であることは勿論である。彼らの他にもこの場面には多くの人々が登場しているが、彼らはみんな退廃的で、虚無的である。で、問題なのは、この退廃的で虚無的な人々の仲間にジェイクも加わっているということである。つまり、退廃的で虚無的な彼らの姿は自分の姿でもある。それでジェイクは自己嫌悪に陥り、気分が悪くなっているのであろう。

しかしジェイクには、明らかに他の人々と違うものがある。それはここまでの論述の中でほのめかしてきたように、彼の「反省」と「怒り」の感情に表出されている、といったことで示唆しておいた。しかし、こんなことではジェイクに「コード」、つまり「重圧の下での品位」がある証拠にはならない。私がここでしなければならぬことは、ジェイクが「コード」の持ち主であるということの確かな証明だったはずであるから。

私が今回扱おうとしているのは第一部だけである。もっと正確に言うなら、ジェイクが「白い手」「白い顔」のにやけた若者たちに怒りを爆発させている第三章のダンスホールの場面に限ってだけである。一体私はこの場面のジェイクのどこに「重圧の下での品位」を見ようとしているのか。

先程述べたように、ジェイクは一人で夕食をとることの寂しさに耐えかねて売春婦を探し、彼女と夕食をとり、それからダンスホールへ行く。ダンスホールでは例の「白い手」「白い顔」の若者たちが、ジェイクが連れてきたこの売春婦を独占し、ダンスの相手にする。ジェイクにしてみれば、自分の相手を奪われた、というふうに考えてもいいだろう。いや、そこまで考えるのは行き過ぎに

しても、その売春婦がジェイクを相手にせず、他の人たちとダンスなどに興じている以上、その売春婦のことなど大して気にしなくてもよさそうに思われる。それに夕食も食べさせ、酒も飲ませてやったのだから。

その売春婦がジェイクの相手をしてくれない以上、彼女などその場に放り出してもかまわないように思われる。それにみんな酔っているわけだから、どさくさに紛れて彼女のことなど忘れてしまったとしても、大して心は痛まないように思われる。ところがどうだろうか。ジェイクはなんと誠実な人間なのだろうか。なんと責任感の強い男なのだろうか。そのダンスホールを立ち去るときには、その売春婦に対する責任を果たそうとしているのである。

I stopped at the bar and asked them for an envelope. The patronne found one. I took a fifty-franc note from my pocket, put it in the envelope, sealed it, and handed it to the patronne.

“If the girl I came with me asks for me, will you give her this?” I said. “If she goes out with one of those gentlemen, will you save this for me?” (23)

私はカウンターの所で立ち止まり、封筒をくれるように頼んだ。女主人が見つけてくれた。私はポケットから50フラン出し、それを封筒に入れた。そして封をして女主人に渡した。

「私と一緒に来た娘が私のことを聞いたら、これをやってくれないか」と私は言った。「もしあの紳士たちのうちの誰かと出ていったら、預かっておいてほしい」

その当時の50フランがどの程度の価値を持つお金であるかは分からない。でも、「もしその必要がなかったら、預かっておいてほしい」というのだから、決してはした金ではないだろう。それにしてもジェイクのこの行ないは特筆すべきことだと思う。相手は初めて出会った見ず知らずの売春婦である。しかも彼女はジェイクのことなど全く忘れてしまったかのように、彼の相手もせず、他の男とダンスに興じている。彼女のことなどそのまま放ったらかしにして立ち去ってもかまわない

ように思われる。果たしてジェイクはこの売春婦に対してどれほどの恩義があるのだろうか。しかしジェイクはどうやらこの売春婦に対して強い責任を感じているようである。自分が関わった以上は自分に責任がある、とでも思っているようである。

ジェイクのこのような行為は、果たして全ての人に共通なことであろうか。否。ここまでできる人はそう多くはいないはずである。いや、非常に貴重な行動かもしれない。ジェイクのみができることかもしれない。もっともこれと同じような行為は『武器よさらば』の主人公フレデリックも、彼がキャサリンの影響によってすっかり成長し、「コードヒーロー」的人物になってから示すようになってはいるが。ジェイクのこの行為がいかにかにフレデリックのそれと類似しているか、フレデリックの例をここに取り上げておこうと思う。タリアメント河のほとりでイタリア軍の若手憲兵の追及を振り切ったフレデリックは、結局追われる身となる。ある晩のこと、滞在していたホテルに知人のバーテンがやって来、追手が迫っていることを告げる。そしてバーテンは自分のボートを貸すからすぐに逃げるようにと促す。一刻を争う緊急事態である。よけいなことに思いを巡らさず、ただ逃げることだけを考えるのが普通であろう。しかし感心なことに、フレデリックはそのような状況に於ても、やるべきことをきちんとやっている。すなわち、ホテル代のことなど忘れてしまっても当然なのに、あるいは夜逃げ同様にホテルを出るわけだから、どさくさに紛れてホテル代など払わずに去ってしまっても不思議はないのに、フレデリックはきちんと後始末をやっている。例のバーテンが尋ねる。「ホテル代は置いてきましたか」(“Did you leave the money for the hotel?”)

(269)「はい、封筒に入れて部屋に置いてきました」(“Yes. In an envelope in the room”). フレデリックのこの行為も、できそうでできないものである。フレデリックのこのような行為が、彼が「コードヒーロー」に成長したことの証であるとするなら、ジェイクの行為も、彼が「コードヒーロー」であることの証拠となるであろう。

このような行為こそ「人間を人間たらしめる誇り、勇気、そして忍耐などの行動指針」、つまり「立派にふるまわせる行動指針を差し出し、例を

もって示」してはいないだろうか。なるほど、先程紹介したキャサリンの「重圧の下での品位」ほどの密度、スケールの大きさといったものはないかもしれない。しかし現実をしっかりと見つめ、ごまかさない、逃げない、という基本線に於ては同じである。それ故、もしジェイクが今後キャサリンと同じような立場に立たされたら、その時にはキャサリンと同じように振舞うであろう。私の推測が正しいか否かについてはさらに追求することにする。とりあえず、ここでの結論は、ヤングの主張は正しかった、ということである。つまり、ジェイクにはコード（掟）が備わっている、と。

しかしこのような私の予測にも拘らず、その後のジェイクにはさっぱり「コード」を持つ男としての姿が見えてこない。いやそれどころか、その反対の姿ばかりが目立ってしまうような気がする。

このように感じさせる第一の原因はコーンにある。もっと煎じ詰めて語るなら、コーンとの関係の中にそれが感じられる。

作品の幕が開くとジェイクがコーンについての概観を語り始めるのだが、この語り口調がいかにコーンを軽蔑していると言わんばかりである。

I mistrust all frank and simple people, especially when their stories hold together, and I always had a suspicion that perhaps Robert Cohn had never been middleweight boxing champion, and that perhaps a horse had stepped on his face, or that maybe his mother had been frightened or seen something, or that he had, maybe, bumped into something as a young child, ... (4)

私は全く率直で単純な人間を信じてはいない。特にその人の話が辻つまが合っているときには。私はいつも、恐らくロバート・コーンは決してミドルウェイト級のボクシングのチャンピオンなどではなかったのではないかと考えていた。たぶん馬が彼の鼻を踏んづけたのであろう、あるいは、恐らく彼の母親がびっくりしたのか、何かを見るかしたのであろう、あるいは子供の時に何かとぶつかったのだらう。

なんとコーンを馬鹿にした語り口だろうか。ま

ずコーンを「全く率直で単純な人間」と総括し、そんな人間は「信じていない」と断言する。そしてその後では「彼の鼻がぺちゃんこになっている」(“his nose permanently flattened”) (3) ことに言及して、あれはボクシングのチャンピオンになった結果の勲章の印などではなく、「馬に踏んづけ」られたのか、母親の胎内にいるときに母親が大変な衝撃を受けたことのせい、あるいはコーンが子供の時に何かにぶつかってつぶしてしまったからであらう、と辛辣な口調である。

このようなコーンに対する軽蔑的な態度はこれだけに留まらず、この言葉の前後にもちりばめられている。

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 a Jew at Princeton. (3)

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のチャンピオンだった。私がボクシングのタイトルとしてのそのことに大変な感銘を受けているなどと思わないでほしい。でもそのことはコーンにとっては大変大きな意味があったのである。彼はボクシングなど好きではなかった。実際、嫌いだった。しかしプリンストン大学でユダヤ人として扱われていたことに対して感じていた劣等感と恥辱感を拭い去るために、ボクシングを痛ましいほど徹底的に学んだのだ。

コーンが大学でボクシングをやったのは、何もボクシングが好きだったからというわけではないという。その動機は、ユダヤ人であることに対して感じていた劣等感と恥辱感を克服するためであったという。なんと不純な動機に基づいていることか。確かに、私たちの物事に対する動機は必ずしも純粋なものばかりではない。コーンの気持ちが分からないものでもない。しかしここで問題なのは、このようなコーンをジェイクが軽蔑してい

ることである。そしてこのようなコーンに対するジェイクの態度は更に続いている。コーンは「彼に対して優しくしてくれた最初の女性と結婚した」(“... was married by the first girl who was nice to him”) (4)。この口振りには、彼が女性に好かれることはなかったし、彼がその女性を好きだったわけでもない、といったことを示唆したいようである。なんと軽蔑的な態度なのか。更にまたジェイクは、コーンは少年少女向けの空想物語を読み、その世界を信じ、その世界を追求しようとしているようだ、とコーンをこきおろす。

...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)

……しかしコーンは『紫の国』を繰り返し読んでいた。『紫の国』は、年を取りすぎてから読むと大変な災いとなる本である。…… 34にもなる男がそれを人生の案内書として考えることは、同じ年頃の男がもっと実用的なアルジャーの全巻が備えてあるフランスの修道院から、直接ウォール街に飛び出していくようなものであろうから。

要するに、コーンは全くの世間知らずで大人になり切っていない、幼稚で未熟な男である、と手厳しい。以上のごとく、ジェイクはコーンを軽蔑し、こきおろし、揶揄している。したがって、ジェイクがコーンを自分と同等に扱う、もしくは友人とする、などということは断じてないはずである、と思う。ところがどうだろう、ジェイクはコーンを単にテニス友達としてではなく、「私は彼のテニス友達だった」(“I was his tennis friend”) (5)、親密な友人として、人生論について議論したり、一緒に酒を飲んだり、挙げ句の果ては、コーンの女を交えた深刻な話し合いなどに同席しているのである。私がこの作品の中で最も疑問に

思っているのはこの点である。ジェイクにはある種の「掟」がある。なんとか自分を律しようとする主体性がある。ところがコーンにはそのようなものは一切ない。つまり、ジェイクとコーンは全く異質の人間である。二人が住んでいる精神的な世界は全く異なるように思われる。このような二人がなぜ友人同士なのか。私の疑問はここにある。この疑問を解かないことには『日はまた昇る』を読むことはできないような気がする。そこでこの作品に更に深入りする前に、ここでこの疑問を解くことを試みようと思う。

人は決して完璧ではない。まして戦争で「命以上のもの」を奪われてしまったジェイクには様々な欠点が見え隠れしている。泣き言を言ったり、愚痴ったりと、その姿は必ずしも英雄的ではない。つまり、コーンとかなり多くの共通点を持っているように思われる。例えば、ジェイクはコーンが苦しんでいる姿を見て楽しんでいる。確かにジェイクのそのような態度にはコーンに対する嫉妬がある。すなわち、こともあろうにコーンはジェイクの恋人ブレットを好きになってしまう。しかしジェイクが精神的にはともかくとして、肉体的に彼女を愛することができない以上、これはどうしようもないことである。ジェイクにもその責任の一端がある。悔しかったら、ブレットを肉体的にも愛してやらなければならない。しかし、性的不能者のジェイクにはそれができない。できない以上、ジェイクは我慢しなければならない。なぜなら、もしジェイクが「コードヒーロー」なら、「忍耐」をも兼ね備えていなければならないので。

「コードヒーローは緊張と苦痛の人生に於て、言うなれば人間を人間たらしめる誇り、勇気、そして忍耐(傍点筆者)などの行動指針を……例をもって示」さなければならないので。ところがジェイクには忍耐力がない。コーンに対してあからさまに嫉妬心を露にし、コーンをいじめ、苦しめようとする。

例えば、パンプローナに闘牛を見に行ったときのこと、ジェイク、ビル、コーンは目的地に先に着いている。ブレットとマイクは後から来ることになっている。そこでジェイクとコーンはブレット達を駅に迎えに行く。ブレットのことを良く知っているジェイクは、彼女が予定の列車では来ないことを確信している。ところがコーンは、自

惚れもあるのだろう、自分のためにもブレットが予定の列車で来ると思っている。そのために風呂に入り、髭を剃り、散髪し、洗髪し、そして髪をなで付け、ブレットを迎える準備を万全に整えている。が、そのために神経質になり、苛立っている。そんなコーンの苛立ちをジェイクはからかい、いじめ、楽しんでいる。

ジェイクの予想通り、ブレットは来ない。ホテルに戻ったジェイクに、ブレットからの電報が来ている。それには「今晚はサン・セバスチャンに泊まる」(“Stopped night San Sebastian”) (99)と書いてある。本来はコーンにもその電報を見せるべきなのだろうが、ジェイクは見せることもせず、それをポケットにしまいこんでしまう。そして「あんたにもよろしくとある」(“Send their regards to you”)と適当なことを言う。勿論ジェイクのこのような行為がコーンをどれだけ苛々させ、苦しめるかは百も承知の上である。ジェイクはこのようなにして、猫が捕獲した鼠をいじめるようにコーンをいじめる。「なぜ私が彼を悩ませようとあのような衝動を抱いたのか分からない。(いや) 勿論良く分かっている」(“Why I felt that impulse to devil him I do not know. Of course I do know”) (99)。

なんとさもしいことか。「コードヒーロー」の名が泣く。しかしこれが人間の本性であろう。たとえどんなに立派な「掟」を持っていたとしても、所詮人間は弱いものである。建前だけでは生きてはいけない。弱みも吐き出さなければならない。そうしなければバランスが取れない。ひょっとすると、強さを求めれば求めるほど、その反動としての弱さも必要となるのかもしれない。このように考えるとジェイクが「コードヒーロー」としての地位を一步一步進んで行くためには、その弱さを吐き出す対象が必要なかもしれない。このような意味でコーンはジェイクの弱さをうまく吐き出させ

るくれるものなのかもしれない。「コーンは人間の最悪のものを引き出してくれるすばらしい性質を持っていた」(“Cohn had a wonderful quality of bringing out the worst in anybody”) (98)とジェイクは語る。

とするとコーンはジェイクが成長するためにどうしても必要な人物である。勿論、このような打算がジェイクに働いているとは思わない。もっと素直な見方をするなら、コーンは人間の弱さの全てを持っているような人物である。ジェイクとて致命的な傷を持つ弱い人間である。としたら、ジェイクはコーンを友人とすることによってどんなに心が安らぎ、心の安定を保つことができることだろう。こんなところに、ジェイクがコーンを友人としている理由がありそうに思われる。

(この項続く)。

《註》

- 1) Philip Young, Ernest Hemingway, notes by Ichiro Ishi (東京、研究社、1961) P. 7
- 2) Ernest Hemingway, *Death in the Afternoon* (New York, Charles Scribner's Sons, 1960) P. 410
- 3) Ernest Hemingway, *A Farewell to Arms* (New York, Charles Scribner's Sons, 1969) P. 157
- 4) *ibid.*, P. 158
- 5) Ernest Hemingway, *The Sun Also Rises* (New York, Charles Scribner's Sons, 1954) P. 14
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。
- 6) 新村出編、広辞苑第三版(東京、岩波書店、1986) P. 666
- 7) 林巨樹監修、現代国語例解辞典(東京、小学館、1985) P. 314
- 8) 金田一春彦他、国語大辞典(東京、小学館、1982) P. 113
- 9) *ibid.*, P. 997

(平成16年9月3日 受理)

ブッシュ大統領のイラク攻撃決定の 背景についての一見解^{*1}

新堀 孝*, 岩崎 健**

A View on the Backgrounds of President Bush's Decision to Attack Iraq

Takashi SHIMBORI, Tatsuru IWASAKI

Why did U.S. President George W. Bush persist in reasoning on the necessity of the attack on Iraq? Did he think that the attack would benefit the United States in terms of security and profit? It seems that he made the decision to attack Iraq based on considerations other than those stated by him ; i.e. Iraq's status as a nuclear threat. It is the purpose of this essay to decipher, or surmise the backgrounds of U.S. President Bush's decision to attack Iraq from four aspects—the grudge against Saddam Hussein after the Gulf War, the rise of Neo-Conservatism, the right and interest in the crude oil under the ground of Iraq, and the structure of industry in the United States. In addition, the necessity of the grass-roots enlightenment for the realization of the peaceful world is referred to.

(Keywords : the grudge, neo-conservatism, the interest in crude oil, the industry structure)

はじめに

2001年9月11日、世界が変わった。ユナイテッド航空とアメリカン航空の旅客機がハイジャックされ、ニューヨークの世界貿易センターのツイン・タワーと国防総省の建物に突っ込み、さらに一機が建物に突っ込むのに失敗してピッツバーグ郊外に墜落した。このテロ攻撃により、世界の従来の秩序は崩壊の危機に瀕し、世界情勢は不安定な状態に陥った。

これに対して、アメリカ（ブッシュ^{*2}政権）は、同年11月にこの同時多発テロの首謀者であるオサマ・ビンラディンとその配下にあるアルカイダ、それにタリバン政権の殲滅のためにアフガニスタンを攻撃した。しかし、この攻撃ではアメリカの安全保障を確保するという目的を達成できないと判断し、2003年3月20日にイギリス、スペインなどの協力を得て、イラク攻撃に踏み切った。しかしこの攻撃は従来のアメリカの外交政策とは異なっていた。アメリカはこれまで、原則として他国の特定の政権を転覆させるための先制攻撃をしない政策をとってきた^{*3}し、また、国際連合安全

保障理事会（以後、国連安保理と略す）の合意に基づいた攻撃ではなかったからである。

なぜ、ブッシュ政権は、これほどまでにフセイン政権を敵視したのか。この問題はアメリカ文学を研究する筆者達にとっては無関心ではられないものである。この考察では、国際政治やアメリカ事情の研究を専門にしているわけではない筆者達であるが、可能な限り、その問題を解明できるよう努めたい。

1. 同時多発テロとフセイン政権の関連

当初、ブッシュ政権は、同時多発テロの背後にいるアルカイダとフセイン政権とは繋がりがあると考えていた。簡単に言ってしまうと、ローリー・ミルロイ氏の『サダム・フセインとアメリカの戦争』^{*4}に書かれている立場をとっていたと言える。元CIA 長官ジェームズ・ウーズリーは、アメリカの情報関係者によると『『イラクの秘密銀行ネットワークが、アルカイダの活動に資金援助するために使われていた可能性が高い』と指摘したり、オサマ・ビンラディンは『1988年、実際に

イラクのスパイと会って資金提供を受けたらしい』^{*5}と発言したりした。

しかし、その証拠は見つからず^{*6}、その主張は世界各国の理解を得られなかった。イギリス国内でさえ、『フィナンシャル・タイムズ』は「イラクが西側諸国の安全を脅かしているという「ブレア」首相の発言を聞いて、国会議員たちは発言の裏付けとなる証拠のなさに不安を感じている」^{*7}（〔 〕内は筆者による補足）と報じ、『オブザーバー』も「なぜ再びアメリカの戦争を支持する必要があるのだろうか。アメリカはそれを証明できていない」^{*8}と警告した。実際、ローリー・ミルロイ氏は9.11同時多発テロにフセイン政権が関与している趣旨のことを主張しているが、中東問題の研究家達はサダム・フセインとアルカイダが協調路線をとることはあり得ないと主張している^{*9}。つまり、同じイスラム教を信仰しているようであっても、サダム・フセインは世俗主義であり、オサマ・ビンラディンとアルカイダ（もしくはタリバン）は原理主義であるという点でまったく異なっており、互いに敵視し合ってさえいるはずであるというのである。9.11テロへのフセイン政権の関与はないというのが主流の考え方である。政治の世界の表舞台の発言を紹介するなら、ロシアのウラジーミル・プーチン大統領の「我々は、どの国の代表や市民がタリバンと協調路線をとって戦っているのか、誰が資金を出しているのかを知っている。イラクはリストに含まれない」^{*10}というものがある。世界の多くの国々は、9.11同時多発テロとイラクの関連を認めなかったのである。

その後、アメリカは独立調査委員会を設立し、同委員会は9.11テロ攻撃とフセイン政権の直接の関与を否定する結論を公表している^{*11}し、プーチン大統領もあらためて「ロシア情報機関はフセイン政権が米本土と国外の施設を標的にしたテロを準備していることをつかんだ。こうした情報を（01年の）米同時多発テロからイラク開戦までに数回米政府に提供した。…〔しかし〕フセイン政権が（実際に実行された）テロに関与したという証拠はないことを明らかにしている」^{*12}（〔 〕内は筆者による補足）。

2. アメリカの新たな主張

フセイン政権が9.11テロと関連があるという主張が国際社会に認められないと、アメリカは主張を変えた。フセイン政権は大量破壊兵器（特に生物・化学兵器）を製造し、隠し持っていると主張し始めたのだ。だが、この主張も多くの国の理解を得ることは出来なかった。それを代表する発言としてロシアのイワノフ外相の発言を紹介すると、「イラクが大量破壊兵器を所有する事実や可能性はいまだに存在しない。…サダム・フセインの味方をする人などいないが、国際政治にはプロセスが必要である。主権国家を侵略するなら、それには理由が必要だ。」^{*13}というものがある。アメリカは国連安保理において、衛星写真や衛星で傍受した通信内容などを証拠として示した^{*14}が、それらもアメリカの主張を裏付ける証拠として、世界各国を十分に納得させるには至らなかった。

結局、国連安保理の要求によりイラクの大量破壊兵器の査察が再開されたが、アメリカの主張を裏付ける証拠は出てこなかった^{*15}。そこで、アメリカは、大量破壊兵器が見つからないからといってイラクがそれを所有していないと証明できたことにはならないと主張し、更に、イラクは大量兵器査察に非協力的であるとの非難を強め、結果として、アメリカ、イギリス等の国は国連安保理の承認を得ないまま^{*16}、2003年3月、イラク攻撃に踏み切ったのである。

しかし、2004年2月時点で、アメリカ、イギリスの主張を裏付ける証拠は見つかっておらず、ついには、「イラクで大量破壊兵器の捜索にあたっている米調査団の団長を…辞任したデイビッド・ケイ氏が1月28日、米上院陸軍軍事委員会の公聴会で辞任後初めて証言し、昨年3月のイラク戦争開始時点でイラクが生物・化学兵器を保有していたと判断した米情報機関の分析は誤りだったと断言した。ケイ氏はアルカイダなどテロ組織と旧フセイン政権の協力についても『証拠は見あたらない』と発言。『自分自身を含め、ほとんど誰もが間違っていた。…証拠は一切ない』と断言した」^{*17}のである。国連査察委員会のハンス・ブリクス氏も、当時のブッシュ政権はどんな些細な事柄も自分たちに有利なように解釈し、まるで魔女狩りのようであった、と述べている^{*18}。

なぜ、ブッシュ政権はそこまでイラク攻撃にこ

だわったのか。

3. なぜイラクなのか

3-1. 湾岸戦争の遺恨

ブッシュ政権はなぜ、イラクをこれほどまでに敵視するのか。この点については、様々な研究家、評論家が色々な説を繰り広げており、ブッシュ大統領本人に聞くしか正しい答えは得られない。しかし、だからといってこの問題を放置してはおけない。吉崎氏は、ブッシュ大統領は純粋にアメリカの安全を確保しようという動機から、イラクへの攻撃を決めたと説明し、その背後には、9.11同時多発テロはアメリカ本土を攻撃された第二の真珠湾攻撃であり、アメリカの安全を確保するためにはイラクを叩く必要があるという判断があったという^{*19}。だが、イラクと9.11同時多発テロを結びつける明確な証拠が存在しない以上、この説明だけでは疑問を払拭することはできない。

この、アメリカのイラクに対する敵意を柴山哲也氏は「サダムをうち負かさずにおいた共和党の父ブッシュ政権や民主党のクリントン政権は決定的な失敗を犯した。だから21世紀の最初の敵はイラクと決まったのだ」^{*20}と断言する。また酒井啓子氏はアメリカの政治家の不安感を「アメリカが常に『イラク脅威論』を持ち出すのは、湾岸戦争の際にイラクのフセイン政権をつぶし損ねた、という意識、そしてつぶし損ねたそのフセインが報復しにやってくるのでは、という意識をアメリカの政治家たちが強く抱いているからに他ならない」^{*21}と説明する。つまり、湾岸戦争の遺恨が根底にあるというのである。

ここまでくると、何故ブッシュ・シニア大統領は湾岸戦争時にフセイン政権を潰さなかったのかという素朴な疑問が生じる。多国籍軍最高司令官ノーマン・シュワルツコフ氏も、攻撃を中止せよというブッシュ・シニア大統領の決断を「温情にあふれた、勇敢な決断」^{*22}と差し障りない表現で形容しているが、進軍を続けていれば「徹底的にたたきのめすことができた」^{*23}と真相を明らかにしている。

何故、ブッシュ・シニア大統領は攻撃を中止したのか。彼はイラク国民の蜂起に期待し、実際それ呼びかけた。彼が自ら、フセイン政権を打倒しなかったのは、ポスト・フセインの準備ができ

ていなかったからである。小滝透氏は、ブッシュ・シニア大統領は「フセイン政権が倒れることでこの地域に政治的空白が生まれることを嫌ったからだ」^{*24}と断言している。それ故に、彼はイラク民衆に蜂起を呼びかけておきながら、その動きを支援するどころか、見捨てたのである^{*25}。彼には、ポスト・フセインの新しい構図が描き切れていなかった。だからイランの影響力が強化するのを防ぐため、そしてイラク国内の内乱を防ぐためにフセイン政権を意図的に救ったのである。そのブッシュ・シニア大統領がやり残した仕事を息子のブッシュ大統領がどうしても処理したがった、という構図は絶対になかったとは言い切れない。

3-2. ネオコン思想をもった政策集団の存在

ブッシュ氏が大統領に就任してから、ネオコン（ネオ・コンサーバティブ）という言葉が頻繁に耳にするようになった。日本で報道される時は「新保守主義」などと訳されることがあるが、今回のネオコンは決して保守主義ではない。従来は内向きの政策をとってきた共和党が、アメリカ国外の国々の問題に積極的に関与しようとするこの思想は「転換左翼である」と柴山氏は断言する^{*26}。その主張は「強大な武力を用いてでも、アメリカの正義を世界に広めるべきである」というものである。アメリカには従来から“Manifest Destiny”と呼ばれる「アメリカの価値観は世界に広めるに値するものである」という思想があり、それと現在の圧倒的な軍事的有利な立場が結びついて、このような思想に傾いているのであろう^{*27}。

この思想は、既に言及したように、ブッシュ氏が大統領に就任してから頻繁に耳にするようになったが、実際には、この思想をもったシンクタンクはクリントン政権時代に既に活動を始めており、クリントン政権の中東政策を厳しく批判していたのである。吉崎氏は特にPNAC（Project for the New American Century）というシンクタンクが痛烈なクリントン政権批判を繰り広げていたことを紹介している^{*28}。クリントン政権時代には、その活動が日本では報道されていなかっただけのことなのである。

吉崎氏の指摘によると、アメリカはGDPの3%しか軍事費に費やしていないのに、他の2位

以下の420数カ国の軍事費を合計してもアメリカの軍事費には及ばないということである（レーガン政権時にはGDPの7%を軍事費に費やしていたという）。その現実を背景に、アメリカは自分たちの考える正義を世界各国に押しつけようという欲望を抱いているように思われる。

ネオコンの代表的な論客であるロバート・ケーガン氏は「欧米」という言葉はもはや通用せず、アメリカとヨーロッパ諸国は異なった基準で行動している、と言う。ヨーロッパには脅威に立ち向かう力がないので、それを見ようとしなくていいが、アメリカにはその脅威に立ち向かう力があるので、その脅威を無視することはできず、敢然と立ち向かうのだ、という論理を展開するのである^{*29}。この論文（書籍）はアメリカとヨーロッパ諸国との決裂を意味するものとして、大きな反響を呼んだものである。

彼らネオコン集団は、強硬な中東政策を主張し、イスラエルへの肩入れを要求していた。この主張がブッシュ政権誕生後、表面上は、そのままアメリカ政府の政策に反映されることはなかった^{*30}が、実際には、ブッシュ政権は政権発足直後からイラク打倒を目論んでいたことが明らかになっている。ポール・オニール前財務長官の証言によると、ブッシュ政権発足直後の国家安全保障会議初回会合（2001. 1. 30）でイラクに対する軍事的選択を検討すべきだとブッシュ大統領がラムズフェルド国防長官に指示していたということである^{*31}。このような政治動向や発言が、表面化したのは2004年2月頃になってのことであるが、ブッシュ大統領の側近には、ネオコン政策集団PNACに署名している者がいる——チェイニー副大統領、ラムズフェルド国防長官、ウォルフォビッツ国防副長官^{*32}。この事実から、アメリカの思惑と高慢な態度が見え隠れすることは、誰も否定できないであろう。このような現実が、イスラム教原理主義者達の態度を硬化させたということも否定できないし、その結果として9.11同時多発テロを避けることが出来なかったとすれば、「第二の9.11テロを防ぐ」という口実は、ネオコン集団が、当時大量破壊兵器保有の疑いをかけられていたイラクを攻撃するべきと主張するための恰好の理由付けを与えてしまったと言えるであろうし、ネオコン思想の高まりがブッシュ大統領

のイラク攻撃決定への傾斜を強めたとも言えるのではないだろうか。

3-3. イラクに眠る原油の利権

吉崎氏は今回のアメリカによるイラク攻撃の背景として、埋蔵量世界第2位といわれる原油の利権をめぐる戦いがある可能性を否定しているし、スコット・リッターも今回のイラク攻撃における石油の利権の関連をあまり重要ではないとしている^{*33}が、彼以外の研究家・評論家はイラクの地下に眠る原油の利権をアメリカが確保しようとしたという主張を繰り返している。例えば、星川淳氏（ウィリアム・リバーズ・ピット著『スコット・リッターの証言』（既出）の訳者）は、次のような指摘をする。「ブッシュ政権の三本柱（石油確保、圧倒的軍事力、テロ抑止）の一角をなす石油については、原油埋蔵量が世界第2位であるばかりではなく、採掘しやすさと品質でもトップレベルのイラクを配下におさめたい動機は限りなく強いと見た方がいい。最近、アメリカでは2025年までに原油輸入依存度を現在の55%から68%にまで上げる見通しを発表しており、当面その大半を中東に頼るつもりだ。アフガン攻撃の隠れた目的であるカスピ海油田の品質と可採量が期待を裏切りつつあることも、イラク攻撃の強行に傾いた理由とされている。」^{*34}

星川氏の、この主張は説得力があるし、加えて毎日新聞社もイラク戦争後の石油権益争奪戦を紹介して、「世界第二位の石油埋蔵量を誇るイラクで、調査済みの73の油田のうち開発されているのは24に過ぎない。国連制裁下では日量200万バレルを割っていたが、『メジャーの開発によって700万バレルになり得る』という見方もあり、文字通り『宝の山』だ」^{*35}との分析を示している。また、ピューリッツァー賞受賞作家であるジャーナリスト、ロン・サスカインド氏は「2001年1月の国家安全保障会議ではイラクにおけるアメリカ地上軍の使用が計画されていた。占領下のイラクをどうするのかを討議しているのだ。…また、占領後のイラクの石油利権をどう分配するかということまで9.11前から討議されていたのだ」と指摘している^{*36}。さらには、朝日新聞も「開戦から1年、イラク石油に思惑交錯、出番待つメジャー、先手打つ中小企業」という記事を掲載し、2004年中に

は日産「300万バレルに達することもできそうだ。埋蔵量からすれば500万～600万バレルの生産も可能」というイラク石油省アボウシュ生産局長のコメントを掲載している^{*37}。実際、アメリカのエネルギー危機はここ数年ずっと警告され続けてきたことであり、それを考えると星川氏の説明や毎日新聞社の分析は極めて説得力があり、現実的に思える^{*38}。

また、この問題の背後には「ビンラーディン主義」というものがある。ビンラーディン主義とは、トマス・フリードマンが「敵はビンラーディン主義」という論説文の中で言及しているものである^{*39}が、日本ではまったくと言ってよいほど聞き慣れないものである。この思想は本文を引用するよりも、坂本一哉氏の言葉を使った方が分かり易いので、そちらを引用する。ビンラーディン主義とは「排他的なイスラム信仰を人々に強制し、社会の近代化を妨げながら、その結果生じる苦境をアメリカのせいにしてアメリカへの憎悪をあおるイデオロギーのことである。寛大な精神をもたず、『悪魔』アメリカの破壊こそが問題解決の正しい道であると説く考え方である」^{*40}。

つまり、アメリカは政治体制がどのようなもの——民主的ではない王制をとってしようとも——であれ、自国の原油確保に協力的な政治体制を認めてきた。しかし、それらの国々で貧富の差が拡大し、国民の間に不満が広がりつつあるところに付け入られ、その不満をそれぞれの国の政府ではなくアメリカに向けられたのである。イラクに限って言えば、アメリカはイラン革命の影響の拡大をくい止めるために1980年代に積極的にイラクを支援した。その結果イラクは中東地域で、強大な軍事力を保持することになったのだ。アメリカとイラクはもともと根本的な友好関係を結んでいたわけではなかったから、クウェートは本来イラクの一部であると主張するイラクの軍事的暴走を交渉ではくい止められず、クウェート侵攻を引き起こし、そして湾岸戦争を引き起こした。

この考察では便宜上、アメリカ、イギリスなどの国々のイラク攻撃を、「湾岸戦争の遺恨」、「ネオコン思想をもつ政策集団」、「イラクに眠る原油の利権」と分けてきたが、実はこれらはこのように分類できない、複雑に絡み合った問題なのである。さらに、パレスチナ問題^{*41}が関係している

ことはいうまでもないことである。

4. 問題をさらに複雑にした要素

このように、今回のイラク攻撃は実に複雑な要素が、おそらくは階層的に——つまり、ブッシュ大統領の中ではある程度の優先順位があったであろうという意味——絡み合っており、起こったものである。

しかし、この問題の背後にはもっと入り組んだ問題点がある。それは、ブッシュ政権は戦争をしたかったのではないかという疑いと、クリントン政権の中東政策の矛盾・無策さ、である。

ここでは、まず後者のクリントン政権の問題を取りあげよう。クリントン政権の中東問題への無策さをネオコン集団が早期から批判していたことは既に指摘したが、クリントン政権は無策であっただけではなく、イラク問題を複雑にした。それはウィリアム・リバーズ・ピットの書籍にスコット・リッターの証言として記述されている。これはどういうことかということ、クリントン政権は、国連の大量破壊兵器査察団の査察場所を、イラクの国家としての主権に関わる場所を中心に選び、イラクの反発を誘発したというものである。そして、イラクは国連及び国際社会に対して非協力的であるという印象を作り上げていったのである。さらに、ミラン・ライの指摘によれば、イラクが主張した、国連の査察団がスパイ活動をしているという主張は事実であったというのである。アメリカの軍事アナリスト、ウィリアム・アーキン氏は、1998年に行われた『『砂漠のきつね作戦』の目標は、UNSCOM（国連大量破壊兵器廃棄特別委員会）を通じて集めた秘密情報を利用して、サダム・フセインを守る国内の治安システムを破壊することだったと考えている。『砂漠のきつね作戦』の目標のほぼ半分は、大量破壊兵器関連施設そのものではなく、政治関連施設に集中していた。国防総省は『UNSCOMのモニターが提供した情報が、目標の正確な選別に役立った』と認めている。』^{*42}と指摘している。

次に、ブッシュ政権（厳密に言うとクリントン政権もそうである）が戦争をしたがっていたという点である。これは、一度中断した査察が再開されたときイギリスのトニー・ブレア首相とブッシュ大統領が2002年4月、国連監視検証査察委員

会（UBNMOVIC）が、「新しい査察制度を無条件に受け入れるべきだと要求し、『どんな査察官でもいつでも、どこにでも立ち入れなければならぬ』と語った。…2002年2月、あるアメリカ情報活動関係者は、ホワイトハウスは『イエスという答えを期待していない』と語った」^{*43}というのである。この、新しい条件は UNSCOM よりも厳しいものである。イラクが反発し、イラクが悪者であるという印象を世界に植え付けようとした意図が窺える。

しかし、何故ブッシュ政権もクリントン政権も戦争を仕掛けたかったのか。これについては、内藤正俊氏が興味深い指摘をしている。簡単に言ってしまうと、アメリカは産業構造上、戦争をし続けると経済が発展しないということである。巨大な軍事産業資本から巨額の資金提供を受けてアメリカ議会、もしくはホワイトハウスへ選出される政治家達は、「平和の配当、それは軍事産業にとって失業である。だから次の戦争への準備を考えなければならぬ」^{*44}というのである。つまり、アメリカの政治家は、平和の希求などをしたりはしないというのである。だとすると、既に指摘した、湾岸戦争時のブッシュ・シニア大統領の「温情にあふれた、勇敢な決断」も、単にイラクの政治空白を嫌ったためではないかも知れない。ブッシュ・シニア政権は、レーガン政権が生み出した巨額の財政赤字を抱えており、アメリカ経済も好調ではなかった。彼はアメリカ経済を支えるために意図的にフセイン政権の延命を謀った可能性があるということである。ところが、クリントン政権下の「ニュー・エコノミー」と呼ばれる好景気により財政赤字はなくなった。ブッシュ大統領は、政権発足期に景気が後退期に入っていたため、軍事費を多額に割いて多少の財政赤字が生じても景気が回復できれば政治基盤に影響は出ないと読んでいたのではないだろうか^{*45}。

だとすると、ブッシュ大統領のイラク攻撃決断は、アメリカ経済の復調のため、湾岸戦争の遺恨をはらすため、ネオコン思想を実現するため、イラクに埋蔵されている原油に関わる利権確保するため、アメリカ本土の安全を守るための積極的な行動であったと同時に、ビンラーディン主義への対処——これは、アメリカ本土の安全を確保するためであると同時に石油の安定供給を維持するた

めという意味で——という不可避な行動であったと言えるのではないだろうか。これらの要素がどのような順位であったかはわからないが、階層的に、かつ複雑に絡み合って、今回のイラク攻撃が行われたと考えられるのである。

最後に

以上のように、今回のイラク攻撃の背景を分析してみた。しかし、気になるのは前項目のアメリカの産業構造である。ブッシュ大統領は2004年度予算で過去最大の赤字を見込んでいるが、その赤字は2005年には減少させることができるとも言っている^{*46}。アメリカ（ブッシュ政権）はイラクの次の標的を考えているのだろうか。国際社会はアメリカの暴走をくい止めることはできないのか。その暴走に日本も追随しているのである。内藤氏は言う、銃社会アメリカ、軍事産業社会アメリカが世界のリーダーである限り、戦争はなくなり、地域紛争の激化は避けられない。なぜなら、そのリーダーであるアメリカが最大の銃、兵器輸出国だからである、と。だとすると、21世紀も戦争の世紀であり続けるのか。

それをくい止めるためには、教育制度を整えるしかない。歴史や民族の違いから生じる憎しみあい乗り越えるための教育をするしかないのである。日本でも、複数の団体がイスラエルとパレスチナの子供を毎年日本に招待して交流会をもっている^{*47}。また、2003年、ニューヨークの音楽ホールでイスラエル人ピアニストとパレスチナ人ピアニストが「音楽を通じて、互いの憎悪を乗り越えることができることを示す」ためのジョイント・リサイタルを行った。あるニュース番組で、イラクの高校生とアメリカの高校生が衛星回線を使って討論会をした。議論は平行線に終わったが、開戦後数日経って、アメリカの高校生には明らかな意識の変化が見られた。自分たちが議論を交わした名前と顔のわかっているイラクの友人達がアメリカ、イギリスの爆撃によって死んではいないかと心配するようになったのである。そして、この戦争が本当に必要で正しいものなのかを疑うようになった、というのである。政治家達が躊躇せずに爆撃命令を下し、ミサイルの発射命令を出せるのは、その地にも、自国と同じ様に暮らす人々がいるという意識が稀薄だからである。市民レベル

で、この意識が高まれば政治家達の暴走を止めることはできるはずである。今求められていること、今出来ることは、そのようなことではないかという私見を示してこの考察を終えることにしたい。

注

- この考察は、日本で出版されている様々なイラク戦争関連の書籍を総合してなされている。引用する場合は、その都度引用元を明示することは言うまでもないが、それぞれの書籍の著者の方々には深く感謝申し上げる次第であります。なお、引用文については、それぞれの書籍の記述をそのまま引用しているので、人名に多少の表記の異なりがあることを、予めお断りしておく。
- この考察では、ジョージ・W・ブッシュ大統領（在任期間2001年1月～）をブッシュ大統領と表記し、ジョージ・ブッシュ大統領（父、在任期間1989年～1993年）をブッシュ・シニア大統領と表記する。
- 吉崎達彦著『アメリカの理論』、新潮社、2003。ただし、実際には、この原則に当てはまらない武力行使を行ってきたのも事実である。例えば、レーガン政権下のグレナダ侵攻、ニカラグアの反米政権を打倒しようとする反政府ゲリラ支援、ブッシュ・シニア政権下でのパナマ侵攻など。歴史を遡れば、セオドア・ルーズベルト政権の「棍棒外交」と呼ばれる度重なる軍事介入政策がある。
- ローリー・ミルロイ著、講談社、2002。
- ミラン・ライ著『イラク戦争を中止すべき10の理由』（NHK 出版、2002）
- 前掲書に同じ。同書によると、CIA 長官テネットの追跡調査では「裏付けとなる証拠は見えなかった」ということである。
- 前掲書に同じ。
- 前掲書に同じ。
- 吉崎達彦（既出）、酒井啓子（『イラクとアメリカ』、岩波書店、2002）、ウィリアム・リバーズ・ピット（『スコット・リッターの証言・イラク戦争―ブッシュ政権が隠したい事実』、合同出版、2003）、小滝透（『サダム・フセインが頑張るこれだけの理由』、飛鳥新書、2003）、ミラン・ライ（既出）
- ミラン・ライ、既出。
- 『朝日新聞』（2004. 6. 17）、*The Daily Yomiuri*. (2004. 6. 18)
- 『朝日新聞』（2004. 6. 29）
- ミラン・ライ、既出。
- グレッグ・ティールマン元国防省諜報部員（コリン・パウエル国務長官の側近としてイラクの大量破壊兵器情報の分析にあたった人物）は、パウエル氏の2003年2月5日の国連安保理での演説は情報操作の意図があったと指摘している。（テレビ朝日、「サンデー・プロジェクト」、2004. 2. 29）
- ウィリアム・リバーズ・ピット（既出）の書籍には、大量破壊兵器査察の結果、イラクがそれを隠し持っていることはありえないし、もしくはそれを製造する能力を持ってはいない旨が書かれている。
- 国連安保理で最後まで、ロシア、フランスがイラク攻撃には賛成しなかったのは、経済制裁下のイラクに認められていた石油輸出の相手国として、これらの国が契約を結び、既にイラクの石油の利権を手に入れていたからという一面もある。
- 『朝日新聞』、2004年1月29日（夕刊）、及び *The Daily Yomiuri*, 2004年1月30日に掲載。ケイ氏の、この発言を受けて、ブッシュ大統領は「サダム・フセインは危険な男だった。少なくとも兵器をつくる能力はあった」とイラク攻撃の根拠を修正した。（『朝日新聞』（夕刊）、2004. 2. 9）また、ケイ氏は2004年6月にもあらためて「大量破壊兵器は『イラクにはなかった』」と断言している。（『朝日新聞』、2004. 6. 18）
- 「きょうの世界」、BS-1、2004年1月30日20時（「国連元査察団長イラクの真実」インタビュー）。ブリクス氏はこれから後も、ブッシュ大統領とブレア首相に対する批判を繰り返している。（*The Daily Yomiuri*, 2004. 2. 10. / 2004. 2. 26）
- 吉崎達彦、既出。
- 柴山哲也著『戦争報道とアメリカ』、PHP 研究所、2003。
- 酒井啓子、既出。酒井氏は、「イラクの防空能力はかなり向上しているが、空軍、陸軍は湾岸戦争後それほど回復していない」という『ジェーンズ・ディフェンス・ウィークリー』などの判断を引用しながら、本文に示したような論を展開している。
- ミラン・ライ、既出。
- 前掲書に同じ。
- 小滝透著、既出。なお、酒井啓子氏（既出）は小滝氏の主張に加えて、「湾岸戦争が米ソ冷戦構造後初めての地域紛争処理の試みであったところから、できる限り「国連」を前面に出し、国際社会による新たな国際秩序維持システムの確立という形態をとろうとした。クウェートからイラク軍を撤退させるための湾岸戦争、という位置づけで戦闘を開始した以上、目的を達成してもなおイラク本土への進軍を続けることは、国連決議をどう解釈しても難しいことだったと言えよう。」とも主張している。
- ロバート・S・リトワク著『アメリカ「ならず者国家」戦略』、窓社、2003。
- 柴山哲也、既出。
- 柴山氏（既出）も、筆者と同様の見解を示している。

28. 吉崎達彦、既出。
29. ロバート・ケーガン著『ネオコンの論理』、光文社、2003。
30. ブッシュ大統領は、選挙運動期間中は共和党の伝統的な孤立主義を訴え、彼自身がネオコン思想を唱えることはなかった。
31. テレビ朝日「サンデー・プロジェクト」、2004. 2. 29。
32. 吉崎達彦、既出。
33. 吉崎達彦、既出。ウィリアム・リバーズ・ピット、既出。
34. ウィリアム・リバーズ・ピット、既出。「訳者あとがき」より。
35. 毎日新聞取材班編『民主帝国アメリカの実像に迫る』、毎日新聞社、2003。
36. テレビ朝日、「サンデー・プロジェクト」、2004. 2. 29。同番組では、油田採掘を希望する外国企業リストを米商務省資料として画面で紹介している。
37. 『朝日新聞』（2004. 3. 27）
38. イラク戦争の背景として石油利権が大きな部分を占めるという見方に対しては、BBCのエバン・デビス氏が「石油がすべてか——戦争の経済」（『イラク戦争は終わったか！』、BBC 特報班、河出書房新社、2004）において反論を繰り広げている。ただし、この反論は石油利権がイラク戦争の背景のすべてであるという見解を否定しているのであって、要素として含まれる可能性まで否定しているわけではない。
 なお、2004年2月にラムズフェルド国防長官は、カザフスタンを訪問し、「カスピ海とカザフスタン西部の安全保障は世界にとって重要だと強調し、…イラクという大駒を手中にした米国はカスピ海周辺や西アフリカの産油国にまで外交攻勢をかけて、OPECに揺さぶりをかけている」（『朝日新聞』、2004. 3. 27）ことから、米国がOPECの実質的な原油価格支配に対して不満を持っていることが窺えるし、イラクの油田開発が順調に進んで石油生産量を増やせばOPECの弱体化につながる可能性があることをエバン・デビス氏も否定していない。
39. トーマス・フリードマン著『グラウンド・ゼロ』、光文社、2003。
40. 坂本一哉著、『『グラウンド・ゼロ』書評』、（読売新聞、2003. 4. 6）より引用。なお、アメリカを悪魔と見なす思想は『同時多発テロがわかる11のQ&A』（ミッチ・フランク著、原書房、2002）にも紹介されている。
41. これについては、注32. をつけた部分の本文で指摘したこととも関連している。なお、パレスチナ問題の概要を知るにあたって、『ドキュメント・ノベル＋用語集 ビンラディン対アメリカ 報復の連鎖』（角間隆著、小学館、2001）がかなり役に立った。
42. ミラン・ライ、既出。
43. 前掲書に同じ。
44. 内藤正俊著『なぜアメリカは戦争をしたがるか』、潮文社、2003。内藤氏は、軍事産業と石油メジャーとの関わりについても言及している。
45. 吉崎氏は、ブッシュ政権の経済政策の特徴として、「防衛費を聖域化して財政赤字を拡大した」が、「その結果として、アメリカ経済に…『ケインズ効果』をもたらした」と指摘している。ただし、財政赤字が巨額になり過ぎれば、かえってそれが経済の失速をもたらすことは言うまでもない。
46. 『朝日新聞』、*The Daily Yomiuri*. (2004. 2. 3)
47. NPO 法人ピース・キッズ・サッカーやイスラエル・パレスチナ・日本の子ども達による親善サッカー大会実行委員会など。ただし、このような活動に対して「カホル・ラバン」エッセイ集40 (<http://kahol.mideastreality.com/kahol42.html>) のような批判もある。

（平成16年9月17日 受理）

東京高専に対する学生の評価

古屋正俊*, 大澤 昇**, 小杉暁子**, 白崎由香里**

On the Evaluation of Students to Tokyo National College of Technology

Masatoshi FURUYA, Noboru OSAWA, Akiko KOSUGI, Yukari SHIRASAKI

This research is the 2nd report about “On the Campus life and Consciousness of Students to Tokyo National College of Technology”. The purpose of this research is clarifying the evaluation of students to the Tokyo National College of Technology. From these research findings, the subject required for student support of this college is examined. The evaluation of students to this college was very severe. It became clear that the following things are required urgently. (1) The measure which raises students' image to this college. (2) The measure which raises the satisfaction of students to the campus life.

(Keywords: Tokyo National College of Technology, Evaluation, Repeater, Image, Satisfaction)

1、研究の目的

本校の中期計画では、教育活動の評価及び評価結果を教育の質の改善につなげるための具体的な手続きとして、以下のような評価項目を明記している。(1) 法人(機構)による評価、(2) 大学評価・学位授与機構による認証評価、(3) JABEEによる評価、(4) 教員による自己点検評価と教員相互評価、(5) 学生による授業評価、(6) 教育後援会・同窓会からの意見。¹⁾

「顧客」を重視した学生中心の学校づくりや、教育の質の向上を目指す今日の学校改革において、学校内外の「評価」は、学校の運営を左右する重要な参考資料である。また評価結果を積極的に公表し活用していくことは、中期計画に示すように、社会への説明責任を果たし、学校運営の改善を促す基本的な取り組みといえる。

既に学内で実施されている授業評価に加えて、高専生活全般についての学生達の「評価」を明らかにすることは、現時点での東京高専の抱える課題や問題点を把握し、今後の学校改革を推進する上で大変有益と思える。学生達は、自らの母校・東京高専に対してどのような「評価」をしているのであろうか。在校生であるからこそ気づく率直な評価は、学校改革に向けて大変有益なヒントを含んでいると思われる。

本研究の目的は、「東京高専学生のキャンパスライフと意識」²⁾の第2報として、アンケート結果を基に、東京高専に対する学生達の「評価」の概要を明らかにし、今後の東京高専における学生支援のあり方を検討することにある。

2、調査について

調査項目：高専生活に関する質問(71項目)

調査方法：質問紙を各クラスに配布し一斉調査

調査時期：平成14年12月

調査対象：平成14年度在籍学生(1,026名)

回収率：84.9%

集計表：本稿のクロス集計は χ^2 検定で $P<0.01$

3、高専リピーターの特徴

在校生にとって、母校・東京高専は繰り返し入学したくなるような魅力を維持しているだろうか。調査では、「あなたがもし中学生だったとしたら、また東京高専を受験しますか」といった質問に対して、また受験すると回答した高専リピーターは約4割(図1)。「もう受験しない」と回答したアンチ・リピーターは約6割となった。

高専リピーターは男子より女子に多く(図2)、学年比較では1年(54%)が最多で、2年になると急減し、5年生で最小(25%)となった(図3)。学科別ではJ科が最も高専リピーターが少なく(31%)、C科(53%)が最も多くなった(図4)。

高専リピーターは「考え方や生き方に強く影響を受けた人(影響源)」(図5)として、「高専の先生」と回答した比率(63%)が最も高く、次いで「地域社会の大人」「母」「祖父母・親類」「父」の順となった。一方、アンチ・リピーターでは「誰からも影響を受けてない」の比率(75%)が最も高く、「映画・音楽」「テレビ」「ゲーム」「マンガ」といったメディアの影響が上位を占めた。

高専リピーターは日常生活の情報源(図6)としては、「学校や先生」の比率(56%)が最も高く、次いで「家族」となった。一方、アンチ・リピーターは、「雑誌」「インターネット」「テレビ」等のメディアを頼る傾向がみられた。

図 5、図 6 より、高専リピーターは先生、地域の大人、両親、親戚といった「重要な他者」（社会学で言う社会化の過程で大きな影響力をもつ人物）との日常的な交流機会が多く、「重要な他者」からの情報提供や、自身の考え方や生き方への影響を受けているようである。一方、アンチ・リピーターは、「重要な他者」との接点が希薄で、日常的にはメディア依存が強い傾向がみられた。

図 7 は、高専リピーター（アンチ・リピーター）と各項目の関連性（ $P < 0.01$ ）について、回答比率の高い項目順（上位 10 項目）にまとめたものである。³⁾ 高専リピーターは、高専生活に 8 割が満足し、高専の授業や教養アップや資格取得に関心があり、高専の立地や自然環境を気に入る、高専の施設への評価も高いようである。

アンチ・リピーターは入学後に高専イメージが低下し（8 割）、学生会やロボコン、クラブ活動への関心はなく、頼りがいのある教員や人間的魅力のある教員との出会いもなく、高専リピーターに比べて、高専生活の悩みも多い傾向にある。しかし、音楽や映画、スポーツ、異性に関しては、高専リピーターより高い関心を示している。

図 1 高専リピーター

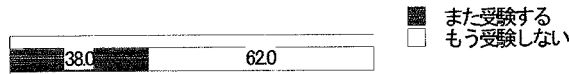


図 2 高専リピーターと性別

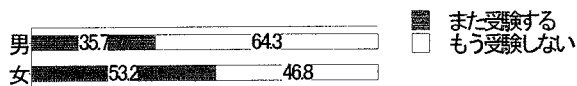


図 3 高専リピーターと学年別比較

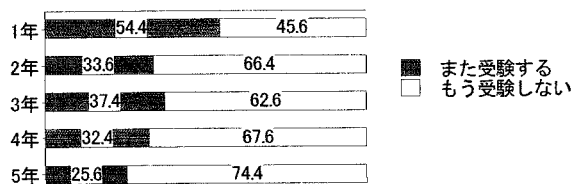


図 4 高専リピーターと学科別比較

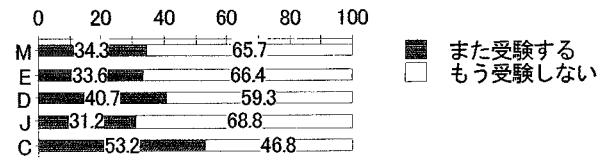


図 5 高専リピーターの影響源

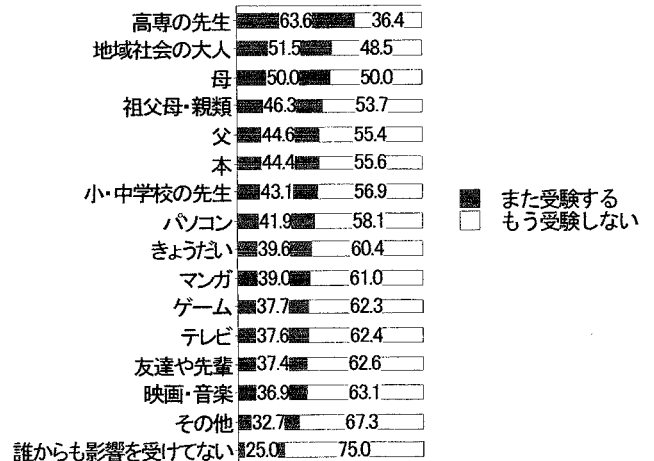


図 6 高専リピーターの情報源

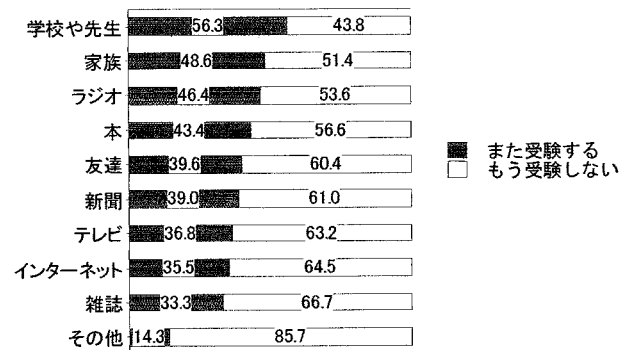


図 7 高専リピーターとアンチ・リピーター

注：▼は否定的回答項目

高専リピーター P<0.01			アンチ・リピーター P<0.01		
順位	回答比率が高い項目	%	順位	回答比率が高い項目	%
1	高専生活に満足している	82.0	1	音楽や映画に関心がある	84.3
2	▼学生会活動に関心がない	78.5	2	▼高専のイメージが低下した	83.9
3	高専の授業に関心がある	72.9	3	▼学生会活動に関心がない	81.7
4	教養アップや資格取得に関心がある	71.8	4	▼ロボコンやプロコンに関心がない	80.2
5	音楽や映画に関心がある	71.0	5	異性への関心がある	77.6
6	進路変更への不安がない	67.1	6	▼高専生活での悩みがある	73.6
7	▼高専生活での悩みがある	65.2	7	スポーツへの興味がある	71.1
8	異性への関心がある	63.2	8	▼クラブ活動に関心がない	68.9
9	高専の立地や自然環境に魅力あり	61.1	9	▼頼りがいのある教員がいない	68.6
10	高専の施設は充実している	58.0	10	▼人間的に魅力のある教員がいない	68.2

4、東京高専のイメージの変化

入学後の「東京高専のイメージ低下」が、東京高専のアンチ・リピーターの比率を押し上げているようであるが、学生たちの東京高専に対するイメージ変化の実情や、その背景はどの様になっているのであろうか。

「高専に対するイメージは入学前とどの様に変りましたか」の質問に対し、全体では約 8 割の学生が「低下した」と回答し、高専のイメージが向上した学生は 2 割に過ぎなかった (図 8)。イメージ低下派は男子に多く (図 9)、学年進行と共に増加し、4 年生でピークの 9 割を示した (図 10)。イメージ低下派は学科別では M 科で 9 割と最も多く、C 科が 7 割と最も少ない傾向を示した (図 11)。

図 12 は、高専イメージ向上派 (イメージ低下派) と各項目の関連性 ($P < 0.01$) について、回答比率の高い項目順 (上位 10 項目) にまとめたものである。

入学後に東京高専のイメージが向上したと回答した「イメージ向上派」は、高専生活に満足している比率 (83%) や高専の授業への関心が高く (75%)、高専の立地や自然環境を気に入り (72%)、高専の施設を評価し (70%)、高専生活で自分の趣味を充実 (65%) させ、教員に対するイメージも「親しみやすい」(56%) 「研究能力がある」(52%) と評価し、保護者の高専への期待感も高く (53%)、高専ライフを謳歌している学生像が伺える。

しかし、入学後に高専イメージが低下した「イメージ低下派」は、各項目においてイメージ向上派とは全く逆の否定的な評価を示し、ロボコン (73%) やクラブ (64%) といった課外活動への関心も少なく、教員のイメージも「人間的な魅力がない」(66%) や「頼りがいがない」(66%) と否定的で、学内にリラックスできる場所を持たず (61%)、高専の学習環境や施設も気に入らず、高専生活で自分の趣味を充実する機会もなく (59%)、高専生活に不満感 (58%) を抱いている傾向が強い。

本校の入学試験時のアンケート (16 年度入学試験終了直後に実施) では、「ロボコンが本校受験の要因になった」とする受験生が 43% だった点を考慮すると、イメージ低下派のトップ要因が「ロボコンに関心なし」(73%) となったのは意外である。(高専イメージ向上派でも「ロボコンに関心なし」が 57%)。

入学後の母校・東京高専に対するイメージの変化は、授業や課外活動への関心、キャンパスの魅力や学校施設の印象、教員との関わり方や教員イメージによって、大きく影響を受けていると考えられる。東京高専に対する学生たちのニーズと現実の高専生活とのミスマッチが、「こんなはずでは

なかった」といった高専のマイナスイメージを醸成し、その全学生の 8 割を占める否定的評価が、高専生活に対する無関心と活力低下を促しているように思われる。高専イメージの低下は学校全体のパワーダウンに直結する問題だけに、早急にその要因と背景を精査し、イメージ向上に向けての改善策を具体的に検討すべきであろう。

図 8 高専イメージ

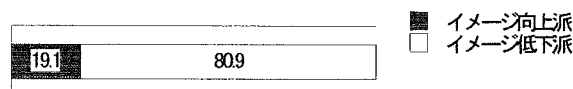


図 9 高専イメージと性別

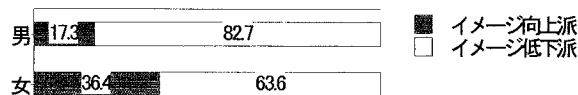


図 10 高専イメージと学年別比較

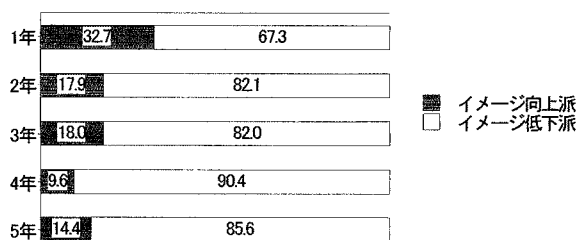


図 11 高専イメージと学科別比較

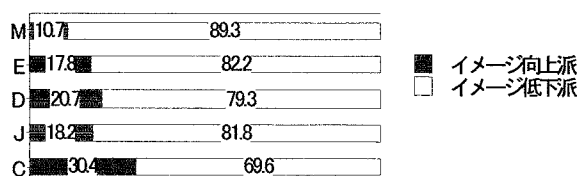


図 1 2 高専イメージ向上派とイメージ低下派 注：▼は否定的回答項目

高専イメージ向上派 P<0.01			高専イメージ低下派 P<0.01		
順位	回答比率が高い項目	%	順位	回答比率が高い項目	%
1	高専生活に満足している	83.9	1	▼ロボコンやプロコンに関心がない	73.3
2	高専の授業に関心がある	75.3	2	▼学校行事に関心がない	67.6
3	高専の立地や自然環境に魅力がある	72.1	3	▼人間的に魅力のある教員がいない	66.4
4	高専の施設は充実している	70.6	4	▼頼りがいのある教員がいない	66.2
5	高専生活で自分の趣味が充実している	65.1	5	▼クラブ活動に関心がない	64.2
6	▼ロボコンやプロコンに関心がない	57.3	6	▼高専の立地や自然環境に魅力がない	61.7
7	親しみやすい教員がいる	56.2	7	▼高専の施設は充実してない	61.5
8	保護者が高専に期待している	53.6	8	▼リラックスできる場所がない	61.3
9	高専をまた受験したい	53.1	9	▼高専生活で自分の趣味が充実しない	59.6
10	研究能力の高い教員がいる	52.3	10	▼高専生活に満足してない	58.9

5、東京高専の満足度

入学後のイメージ低下派が 8 割を占める東京高専の学生は、高専生活にどの程度満足しているのであろうか、またその満足感や不満足感は、どのような要因に影響されているのであろうか。

高専生活の満足派は東京高専の全学生の 53% を占め（図 13）、男子より女子（71%）（図 14）に多く、学年では 1 年が約 7 割と最も多く、学年進行で急減し 4 年で最低（43%）となった（図 15）。学科別では E 科（43%）で満足派が最も少なく、C 科（70%）で最も多くなった（図 16）。

「日本の青少年の生活と意識」⁴⁾ の同世代の調査結果をみると、「現在の学校生活にどのくらい満足していますか」の項目で、「満足」（満足＋まあ満足）の回答比率は高校で 84.3%、短大・高専で 83.2%であった。また「第 6 回世界青年意識調査報告書」⁵⁾ では、18 歳から 24 歳の在校生の学校生活（短大・高専・大学）の満足度は、「満足」（満足＋やや満足）が 78.2%となり、二つの同世代の全国調査と比較しても、東京高専の満足派の比率（53%）がかなり低いことが分る。

図 17 は、高専生活の満足派（不満足派）と各項目の関連性（ $P<0.01$ ）について、回答比率の高い項目順（上位 10 項目）にまとめたものである。

高専生活の満足派の特徴は、「教養アップや資格取得への関心」（73%）、「高専の授業への関心」（68%）、「語学力の向上への関心」（64%）が特に高く、「進路変更の不安感」もなく（65%）、「高専の施設」を気に入っている（55%）。一方、高専生活の不満足派の特徴は、「高専のイメージが低下した」学生が 9 割を占め、また「人間的な魅力のある教員がいない」（74%）や「頼りがいのある教員がいない」（72%）といった否定的な教員イメージを持つ学生が多く、学内にリラックスできる場所を持っていない学生（70%）が多い。

高専生活の満足派・不満足派で共通しているの

は、共に異性には高い関心を示しているが、学生会活動やロボコン、学校行事等の課外活動には関心が薄く、高専生活で悩みを抱えている学生も多い点である。しかし、課外活動への無関心や高専生活で悩む比率は、不満足派の方が高く、特に悩み事の内容では、「進路変更への不安」を感じている学生が不満足派に多い（46%）点が特徴といえる。

高専生活の満足派は「高専に通う意義」（図 18）として、「先生の人柄や生き方から学ぶ」と回答した比率（76%）が最も高く、次いで「自分の才能を伸ばす」（70%）、「一般基礎知識を身につける」（65%）、「職業的スキルを身につける」（63%）、「専門知識を身につける」（63%）と回答している。一方、不満足派は「わからない」（70%）、「特に意義はない」（88%）の比率が最も高い傾向を示した。

図 19 は、「高専生活の満足度」と「高専生活で熱中や感動した体験」との関連性をみたものである。高専生活で熱中したり感動した体験を持つ学生は、満足派で 55%、不満足派で 31%に減少。逆に、感動体験を持っていない学生は満足派で 44%、不満足派で 68%に増加した。感動体験の有無によって、高専生活の満足度が大きく影響を受けているようである。

これまでの結果より、高専生活の満足派は不満足派と同様に、課外活動や学校行事への関心は希薄であるが、授業や教養・資格・語学への関心は高く、向学心があり、高専に通う意義や目的意識を明確に持っている学生像がイメージできる。一方、高専生活の不満足派は、入学後の「高専イメージの低下」といったトラウマを引きずるかのようになり、高専生活の悩みも多く、課外活動や学校行事への関心も低く、教員との関わりも希薄で、感動体験を味わう機会も少なく、高専に通う意義や目的も曖昧なまま高専生活を送っている状況が読み取れる。

図13 高専生活の満足度

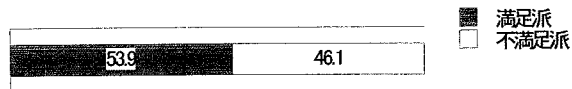


図14 満足度と性別

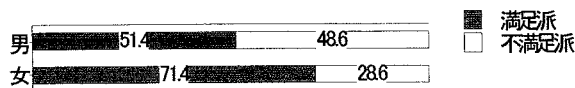


図15 満足度と学年別比較

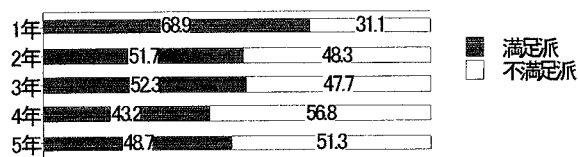


図16 満足度と学科別比較

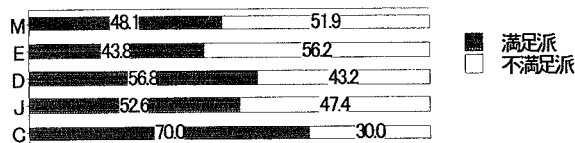


図18 高専に通う意義と満足度

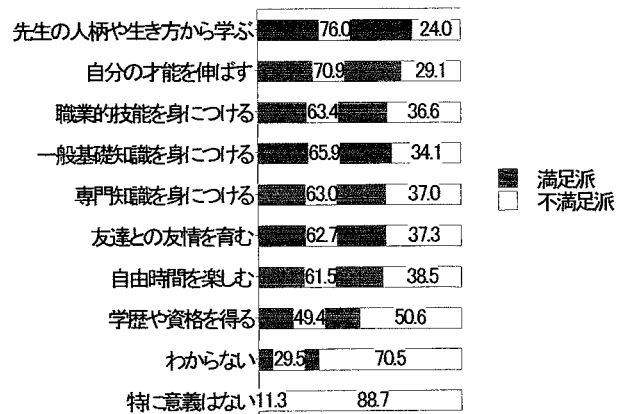


図19 高専生活の満足度と感動体験

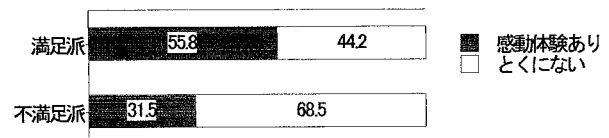


図17 高専生活の満足派と不満足派

注：▼は否定的回答項目

高専生活の満足派 P<0.01			高専生活の不満足派 P<0.01		
順位	回答比率が高い項目	%	順位	回答比率が高い項目	%
1	▼学生会活動に関心がない	74.9	1	▼高専のイメージが低下した	90.2
2	教養アップや資格取得に関心がある	73.7	2	▼学生会活動に関心がない	86.2
3	異性への関心がある	68.1	3	▼ロボコンやプロコンに関心がない	79.9
4	高専の授業に関心がある	68.0	4	異性への関心あり	79.9
5	進路変更への不安がない	65.5	5	▼高専生活での悩みがある	75.1
6	語学力の向上に関心がある	64.6	6	▼人間的に魅力のある教員がいない	74.5
7	▼高専生活での悩みがある	63.9	7	▼地区大会や全国大会に関心がない	73.9
8	▼ロボコンやプロコンに関心がない	59.4	8	▼頼りがいのある教員がいない	72.8
9	高専の施設は充実している	55.6	9	▼学校行事に関心がない	71.0
10	▼学校行事に関心がない	55.2	10	▼リラックスできる場所がない	70.5

6、まとめ

本研究の目的は、東京高専に対する学生達の「評価」の概要を明らかにし、今後の東京高専における学生支援のあり方を検討することであった。学生達の東京高専の評価を、「高専リピーター」、「高専イメージ」、「高専の満足度」の観点から分析したところ、以下のような大変厳しい評価となった。

「東京高専はもう受験したくない」と感じている学生（アンチ・リピーター）が全学生の 6 割を越え、入学後に東京高専のイメージが低下した学生が 8 割、高専生活に不満感を抱いている学生が 5 割弱であった。各評価項目の関連性を見ると、学生達に否定的評価をもたらす主な要因は、高専に対する入学後の「イメージの低下」や「不満感」であった。また「イメージの低下」や「不満感」は、東京高専の教員やキャンパスに対するマイナス・イメージ、高専生活に対する無関心や帰属意識の低さ、本人の学習意欲や目的意識の希薄さによって大きな影響を受けているようである。

学生達による「内部評価」は学校改革の最優先すべき指標である。顧客ニーズに的確に対応し、顧客の満足感を高め、リピーターを増やしていくことは安定経営の鉄則である。しかし、調査結果で見ると、本校は顧客ニーズに的確に対応できてなく、リピーター率も低く、不満感も多く、顧客離れ（受験生の減少）を招きかねない大変憂慮すべき状況にある。

大学で満足度を左右する決定的な要因は「コミット」（学びへの参画、発表機会や教官との距離の近さ）と「自己効力」（目的意識や自己評価の高さや成功体験）と言われる。⁶⁾ 確かに今回のデータからも、東京高専に対する肯定的評価の高い学生（リピーター、イメージ向上派、満足派）ほど、教員評価が高く、教員との距離も近く、目的意識が明確で、学びに対して能動的で、高専で趣味を楽しみ、感動体験があり、「コミット」と「自己効力」の機会をより多く持っていると考えられる。

学生支援のあり方としては、高専イメージの向上に向け、学生達の幅広いニーズを的確に受け止め、いかに「コミット」と「自己効力」の機会をキャンパス内につくり出し、満足度を高めるか、その具体的な仕掛けや取り組みが急務である。そのためには学生としっかり向き合い、喜怒哀楽を共有できるような、教員の職場環境の「ゆとり」

や意識改革も必要となろう。また能動的で学習意欲を持ち、志望動機や目的意識が明確な受験生をいかに確保するかも、学生中心の学校づくりを目指し、学校のダイナミズムを低下させないためには、大変重要な課題といえる。

-
- 1) 東京高専中期計画 2003.12.25
 - 2) 東京高専学生のキャンパスライフと意識
東京工業高等専門学校研究報告書
第 35 (2) 号 2004
 - 3) 各項目は 5 段階評価（例：大変満足、やや満足、どちらともいえない、やや不満足、大変不満足）の回答を 3 段階に整理して表示している（例：満足している＝大変満足＋やや満足）。図 12、図 17 も同様である。
 - 4) 内閣府政策統括官（総合企画調整担当） 2001
 - 5) 総務庁青少年対策本部 1999
 - 6) 「全国大学満足度ランキング」 p36
朝日新聞 AERA 2004.10.4

（平成16年 9 月30日 受理）

The Effect of Low-Temperature Thermal Annealing in the Atmosphere on the Light Emission of Porous Silicon

Hideki OHNO* and Kouichi YAGISAWA**

Heating at low temperatures (150, 200 and 250°C) in air for short periods of time (0 - 60 min) were used to oxidize films of anodized porous silicon (PS). The relationship between the photoluminescence (PL) character and the structure of the PS film oxidized was investigated by means of IR absorption and PL spectroscopies. IR peaks ($800 - 1200 \text{ cm}^{-1}$) due to Si=O bonds of silanone-based compounds Si-O-Si and $\text{H}_x\text{-Si-O}_y$ (x and y ; 1, 2 or 3) are confirmed to grow for the PS films annealed at all the temperatures. The annealing makes the broad PL peak around 850 nm of the as-prepared PS film decrease, and instead makes a new peak at 710 nm, which is associated with the silanone-based compounds grow.

Since visible photoluminescence (PL) at room temperature from electrochemically anodized porous silicon (PS) was discovered,¹ PS has been studied extensively for its potential applications in silicon-based optoelectronics.^{2,3} Many researchers have studied as-anodized PS treated by various oxidation processes such as the rapid thermal method and exposure to air for a long time.^{4,5} These studies have clarified that oxidized PS has a PL spectrum in the range of 650 - 800 nm. However, the intensity and the wavelength range of the PL can be affected significantly by the etching solution in the etching process and/or the subsequent oxidation process. Although PL is thought to result from the oxidation of nano-structural silicon surface,^{6,8} which portion of the oxidized PS is the PL source has not been revealed yet.

In this study, electrochemically anodized PS were oxidized by annealing at low temperatures 150 - 250°C in ambient air, and were examined by means of IR and PL spectra. On the basis of these results the relationships between the surface structure of the oxidized PS and the PL spectra have been analyzed in detail.

A p-type Si (100) wafer ($\rho = 2 - 5 \text{ } \Omega\text{cm}$) was electrochemically anodized in a (2 : 1) solution of HF (46%) and ethanol (99.6%) at a current density

of 30 mA/cm^2 for 60 min. After completing the anodization, the porous silicon layer formed was separated from the Si substrate by increasing the current density up to 900 mA/cm^2 . The PS samples obtained were then annealed in air at three different values of temperatures 150, 200 and 250°C for oxidization. The IR spectra on these PS films were measured with a transmission FTIR spectrometer, and the photoluminescence spectra were measured with a pulsed laser photoluminescence (PL) spectrometer (Nd : YAG ; $\lambda = 355 \text{ nm}$, pulse width 5 - 6 ns).

Figure 1 shows the IR absorption spectra in the range of $800 - 1400 \text{ cm}^{-1}$ for the PS annealed at 150°C for the annealing times of 10, 30 and 60 min as well as that for an as-prepared PS. The IR peak appearing at 816 cm^{-1} in the spectrum of the as-prepared PS is attributed to the absorption due to $\text{-O}_y\text{-Si-H}_x$ bond bending. The IR absorption due to Si-H_n bond bending ($n = 1, 2$ and /or 3) appears at 910 cm^{-1} with strong intensity. The peaks due to the Si-O-Si bond stretching appears at 1040 and 1110 cm^{-1} .⁹ The absorption due to Si=O or Si-O-Si bonds stretching on the PS surface is observed at 1270 cm^{-1} .⁹ As the annealing time increases, the intensities of IR peaks at 816, 1040, 1110 and 1270 cm^{-1} increase. In addition, a new peak assigned to the stretching vibrational band

* Department of Electronic Engineering

**Parttime lecturer in Genaral Subjects

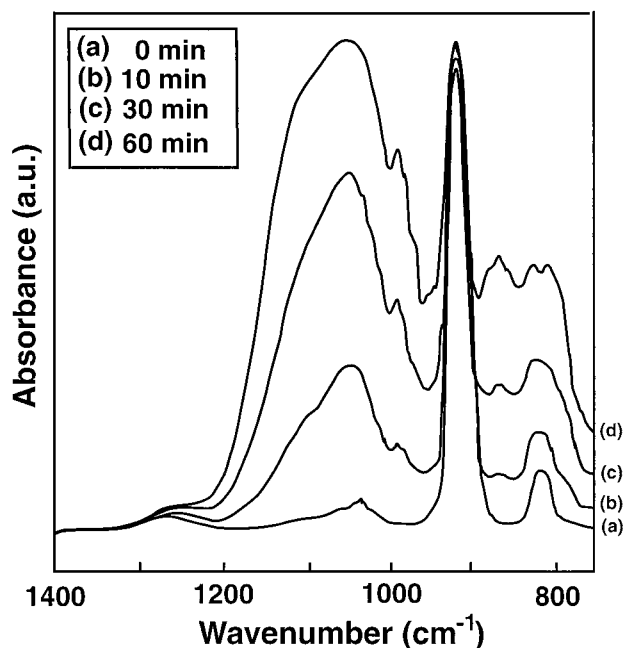


Fig. 1 The IR spectra in the range of 800 - 1400 cm^{-1} of as-prepared PS film and annealed PS at 150°C for the oxidation times of 10, 30 and 60 min, respectively.

of $\text{O}_y\text{-Si-H}_x$ (y and x ; 1, 2 or 3) appears at 870 cm^{-1} ,⁹ and this also grows with the annealing time.

Figure 2 shows the IR spectra in the range of 2050 - 2300 cm^{-1} obtained for PS samples which were annealed also for 0, 10, 20, 30 and 60 min at 150°C. The IR peaks at 2087, 2110 and 2144 cm^{-1} which dominate the spectra of the as-prepared PS are attributed to Si-H_1 , Si-H_2 and Si-H_3 stretching modes, respectively.¹⁰ These IR peaks disappear for longer annealing times. In the IR spectra of the annealed PS, new peaks appear at 2205 and 2261 cm^{-1} . The peak at 2205 cm^{-1} increases and then decreases with the annealing time. The peak at 2261 cm^{-1} increases consistently with the annealing time. When hydrogen atoms in the Si-H_n bond are replaced by oxygen atoms, the change in the charge distribution occurs because of electronegativity, leading to shifts of the corresponding vibrational frequencies toward the higher energy side.¹¹ Thus the change in the present IR spectra against the annealing time can be recognized the IR peaks at 2087, 2110 and 2144 cm^{-1} , attributed to Si-H_n ($n=1, 2$ and 3) bonds, are replaced by higher frequency one because the

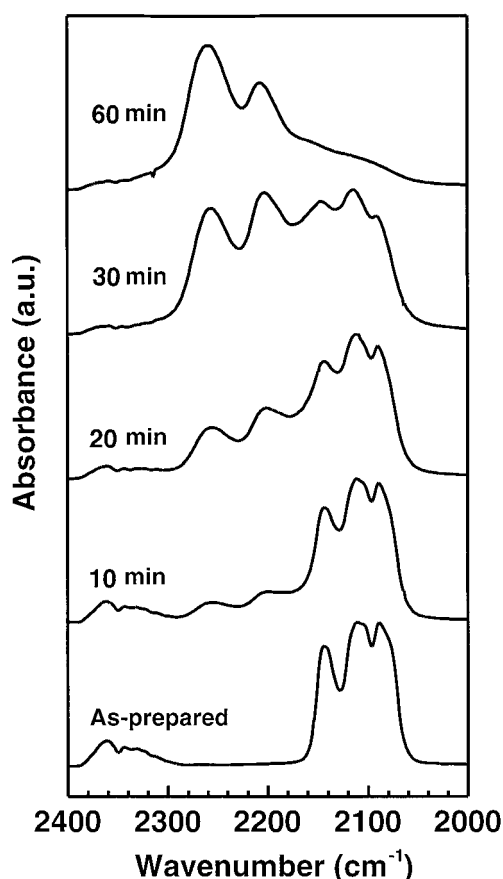


Fig. 2 The IR spectra in the range of 2000 - 2300 cm^{-1} of as-prepared PS film and annealed PS at 150°C for the oxidation times of 10, 20, 30 and 60 min, respectively.

back bonds of Si-H_n passives are oxidized. This explanation is also supported by the observation that the total absorption intensity of Si-H_n (stretching) in the range of 2050 - 2300 cm^{-1} maintains almost constant in spite of the progress of oxidation. The observed peaks at 2205 and 2265 cm^{-1} can be attributed to the $\text{O}_x\text{-Si-H}_y$ (x and y ; 1, 2 or 3). This implies that the Si-H_n bonds in the PS film surface are not broken in the oxidation process. The oxygen preferentially attacks the back bond of Si-H passives to produce the $\text{O}_y\text{-Si-H}_x$ rather than the hydrogen of Si-H moiety.

Figure 3 shows Photoluminescence (PL) spectra of the PS film annealed at 150°C for different values of annealing times (10, 20, 30 and 60 min) as well as that of the as-prepared PS. The PL spectrum lies in the broad range from 600 to 900 nm. The intensity of the broad peak around at 800 nm in the PL spectrum of the as-prepared PS

decreases with the annealing time. Instead, a new PL peak appears around 710 nm and its intensity increases consistently with the progress of the oxidization. When the annealing time is over 60

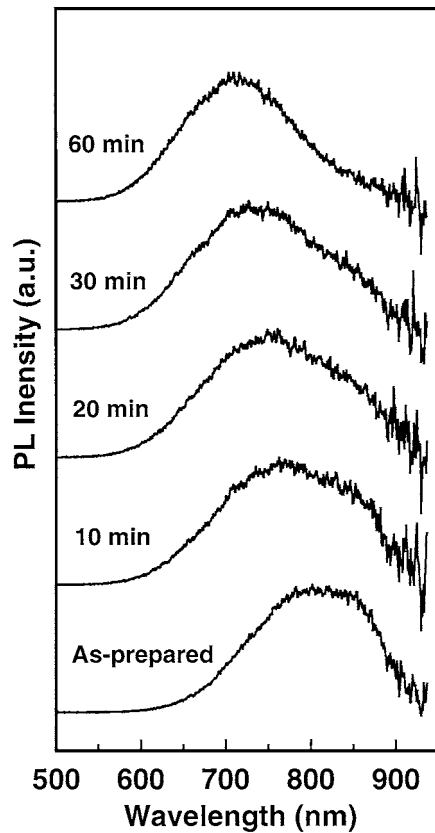


Fig. 3 The PL intensity of as-prepared PS and annealed PS at 150°C for the different annealing times of 10, 20, 30 and 60 min, respectively.

min, the spectrum around 710 nm no longer changes. Also, the broad peak observed for as-prepared PS almost disappears after the annealing time over 60 min.

Figure 4 (a) shows the intensities of PL at 710 nm as a function of the annealing time for different annealing temperatures (150, 200 and 250°C). For comparison, the dependence of the intensity of the IR peak at 2261 cm^{-1} on the annealing time is also shown in Figure 4 (b). This IR peak has been assigned above as the stretching bond of $\text{O}_y\text{-Si-H}_x$. The results in (b) are shown also for three different values of the annealing temperatures 150, 200 and 250°C. These figures have two characteristic features. First, the increase in the intensity of PL peak at 710 nm is faster for higher annealing temperature in the shorter annealing time region. In the similar way, the increase in the IR intensity at 2261 cm^{-1} is faster for higher annealing temperature. Second, the PL and IR intensities saturate for longer annealing time, and the lower annealing temperature tends to give the saturation at a shorter annealing time. These similar tendencies show clearly that the behaviors of the PL intensity at 710 nm and that of the IR intensity at 2261 cm^{-1} are associated with the

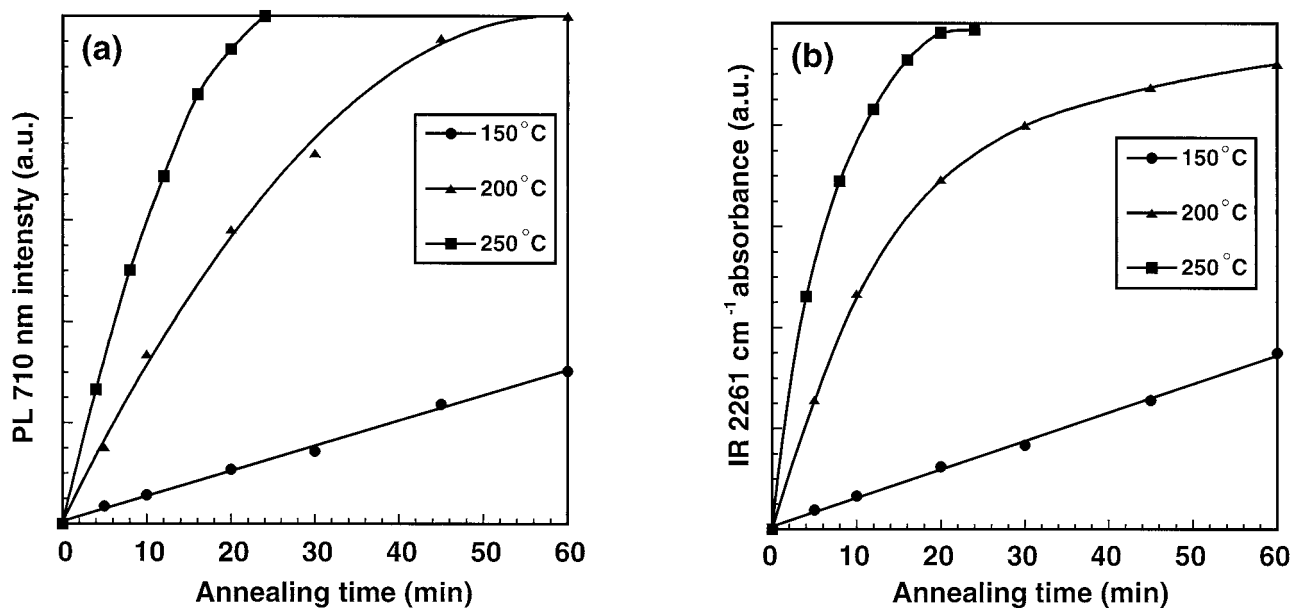


Fig. 4 (a) The trend of the PL intensity at 710 nm as a function of the annealing temperature (150, 200 and 250°C). (b) The change of the IR intensity at 2261 cm^{-1} vs. the annealing times for the difference of the annealing temperatures (150, 200 and 250°C).

same origin. Hence we conclude that the PL peak at 710 nm is attributed to the formation of the O_y -Si- H_x structure.

Gole *et al* calculated the IR absorption spectrum of stretching mode and the PL spectrum of -Si(O)OR (R = H and/or silyl) considering it as silanone-based compounds.^{9,12} They suppose that the PL spectra calculated for Si(O)Si₂, (Si(O)SiH₃)₂, and Si(O)(OH)(SiH₃), which are strongly bonded to the PS surface, lie in the region from 600 to 800 nm. They also suppose that IR peaks for calculated ν (Si=O) stretching and H-Si-O bending modes lie in the range from 1050 - 1250 cm⁻¹ and 870 - 900 cm⁻¹, respectively. The triplet-singlet (ground state) transitions in silanone-based compounds such as SiH₃(O)(Si-H₃)₂ are shown to occur in the 750 $\pm$ 50 nm spectral region.¹² In the present experiments, the IR absorptions of silanone-based Si=O bonds and H-Si-O bending are observed at 1200 - 1250 cm⁻¹ and 816 cm⁻¹, respectively. Consequently, it is considered most probably that silanone-based fluorophors are produced on the PS surface when they are annealed. These IR peaks of the silanone-based compounds increase with the annealing time, just as the peaks at 2261 cm⁻¹ of O_x -Si- H_y do. This result suggests strongly that the 710 nm PL peak which appears progressively for more oxidation is associated with the silanone-based compounds produced on the PS surface. The production of these silanone-based compounds is raised by an increase in the annealing temperature and /or the annealing time.

In the summary, as-prepared anodized PS shows a broad PL spectrum expanding from 600

to 900 nm. When this PS film is annealed at low temperature (150 - 250°C) for appropriate times, the stable PL spectra having peak at 710 nm grow. The production mechanism of the PL at 710 nm is considered as follows. The back bond (Si-Si) of passivated H-Si is cleaved and oxidized to produce the silanone-based compounds on the PS surface, and these compounds contribute to emission of the PL spectra.

References

- ¹ L. T. Canham, Appl. Phys. Lett. **57**, 1046 (1990).
- ² S. M. J. Prokes, J. Mater. Res. **11**, 305 (1996).
- ³ A. G. Cullis, L. T. Canham, and P. D. J. Calcott, J. Appl. Phys. **82**, 909 (1997).
- ⁴ A. J. Kontkiewicz, A. M. Kontkiewicz, J. Siejka, S. Sen, G. Nowak, A. M. Hoff, P. Sakthivel, K. Ahmed, P. Munkherjee, S. Witanachchi, and J. Lagowski, Appl. Phys. Lett. **65**, 1436 (1994).
- ⁵ Y. Fukuda, K. Furuya, N. Ishikawa, and T. Saito, J. Appl. Phys. **82**, 5718 (1997).
- ⁶ L. T. Canham, M. R. Houlton, W. Y. Leong, C. Pickering, and J. M. Keen, J. Appl. Phys. **70**, 442 (1991).
- ⁷ T. Tamura, M. Ruckschloss, T. Wirschem, and S. Vepeek, Appl. Phys. Lett. **65**, 1436 (1994).
- ⁸ A. Loni, A. J. Simons, P. D. J. Calcott, J. P. Newey, T. I. Cox, and L. T. Canham, Appl. Phys. Lett. **71**, 107 (1997).
- ⁹ J. L. Gole, and D. A. Dixon, J. Phys. Chem. **B101**, 8098 (1997).
- ¹⁰ Y. Kato, T. Ito, and A. Hiraki, Jpn. J. Appl. Phys. **27**, L 1406 (1988).
- ¹¹ G. Lucovsky, J. Vac. Sci. & Technol. **16**, 1225 (1979).
- ¹² J. L. Gole, and D. A. Dixon, J. Phys. Chem. **B104**, 1777 (2000).

(Received, Sep, 29, 2004)

ハードウェア記述言語と FPGA を用いた マイクロプロセッサ設計教育

大 塚 友 彦*

Fundamental Education of Microprocessor Design based on FPGA using HDL

Tomohiko OHTSUKA

Exercising about the design flow of digital systems from the top level to physical level is important for the students who aim to be LSI designers. This paper describes a fundamental education method for the finite state machine (including CPU) design with some laboratories. In laboratories, each student designs the specification aiming to realize the target functionalities. According to each specification, each register transfer level system is designed using the hardware description language (HDL), and its functionalities are checked using the HDL simulator on PC. After that the logical synthesis is adopted and all synthesized gates are placed and routed on the field programmable gate array (FPGA). Also students can study the actual system implementation and its test using this curriculum.

(Keywords : Hardware Description Language, CPU, Student Laboratory, FPGA Design)

1. はじめに

近年、日本の大学・高専の LSI 教育において、様々な努力が行われているが、その多くは講義のみによるもので、実験や実習が伴うものは少ない。実際のシステム設計に携わるエンジニアの養成を考えると、学生実験等でソフトウェアによる実現部分と LSI 技術によりハードウェアとして実現する部分を総合的に考える練習を行うことは重要と考えられる。本校電子工学科では、低学年から講義と実験を融合した演示実験を導入し、体験学習を取り入れながら学生の理解を高める工夫をしてきた[1]。

LSI 設計をベースとしたマイクロプロセッサ設計教育では、[2][3]のように大学院レベルの取り組みはいくつか報告されているが、大学生や高専生向けに内容や実施形態を調整した教育手法を確立する必要があると考えられる。

そこで、本校専攻科電気電子専攻では、平成 15 年度より「集積回路設計」(専攻科 1 年)において、

①実験・実習を組込んだ LSI 教育の実現

②LSI 設計の立場からシステムの実現を考察する練習の実施のため、講義と実験実習を融合した演示実験形式による LSI 設計教育を行っている。ここでは、実際の LSI 設計の流れに沿って、ハードウェア記述言語 (HDL) を活用し、

上位設計から論理設計まで実習できるようにしている。実装設計については、授業時間数を配慮し、実際に LSI を試作する代わりに FPGA を用いて実装設計及び動作試験を行うこととした。本実験を通じ、システム設計の流れ、ハードウェア/ソフトウェア協調設計の考え方を修得し、LSI 設計手法を体験的に学習できるものと考えられる。本報告は、こうした講義と実験を併用した LSI 設計教育の試みについての報告である。

2. マイクロプロセッサ設計実験の概要

2. 1. 受講対象

本実験では、専攻科 1 学年相当の電子工学系の学生を対象とした。受講時までに以下に示すような学習状況を想定している。

- ①マイコンの使い方やプログラムは経験済みである。
- ②論理回路の基礎は修得済みである。
- ③C 言語などの高級言語は修得済みである。
- ④FPGA や HDL を使うのは初めてである。

2. 2. 教育目標

以下のような教育目標を実現するため、HDL や FPGA を用いたシステム設計を初めて学ぶ学生対象に実験内容を設定した。

- ①システム設計の基本的な流れを理解する。
- ②HDL や FPGA による設計手法を理解する。
- ③マイクロプロセッサのハードウェア設計と設計したマイクロプロセッサ上で動作するブ

*電子工学科

ログラム設計の両者を体験学習し、理解を深める。

2. 3. 実習内容

本実験では、以下の①～⑤の実習項目を設定した。

①基本構成要素の設計

まず、HDL を用いた設計手法の基礎を学習するため、マイクロプロセッサを構成するために必要な基本回路ブロック（レジスタ、演算回路、カウンタ、マルチプレクサなど）について HDL を用いた設計練習を行う。

ここでは、HDL を用いた設計の考え方、HDL の文法、基本要素の記述方法などの基礎知識修得を目的としている。また、同時にシミュレーションの際に必要なテストベンチの作成方法やシミュレータの使い方についても学習する。

②設計例のマイクロプロセッサの動作理解

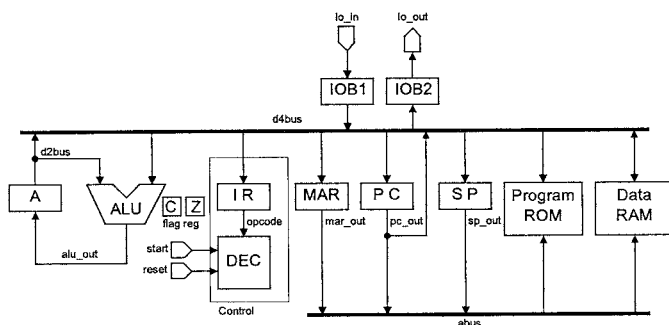


図 1. マイクロプロセッサ D80 のブロック図

ここでは、マイクロプロセッサのアーキテクチャ、各回路ブロックの動作原理、並びに全体の制御の仕組みを理解させることを目的としている。

図 1 は、本実験用に開発した簡易型 8 ビットマイクロプロセッサである。図 1 のプロセッサは、マイクロプログラム方式の CISC 型のコンピュータで、表 1 のような命令セットを持つ。命令はインストラクションレジスタ (IR) を含む命令デコーダで解釈され、ここから各部に配線された制御信号によりプロセッサ全体の動作を制御している。

初めに回路設計経験が少ない学生へ設計の一例として図 1 のマイクロプロセッサを提示する。まず、講義形式で各回路ブロックの動作原理を解説し、続いてマイクロプログラム方式による回路全体の制御機構について説明する。

次に学生に図 1 の Verilog HDL ソースファイ

ルを配布し、各回路ブロックの Verilog HDL による具体的な記述法を理解させる。特にマイクロプロセッサ全体の制御を行う制御部（命令デコーダ、インストラクションレジスタ、プログラムカウンタ、マイクロインストラクションレジスタ及びその周辺回路）の動作は順序回路の設計上最も重要な部分であるため、例示された Verilog HDL のソースファイルについても講義形式でその内容を解説する。

また、例示のマイクロプロセッサ（図 1）の命令セット（表 1）がハードウェア内部でどのように表現されているかについても考察させる。

さらに、回路的な動作を理解させるため、図 2 のようにシミュレータで動作を確認させ、共通バスを通じてプログラムメモリから各命令が命令デコーダにロードされ実行される様子も観察させる。

表 1. マイクロプロセッサ D80 の命令セット

Mnemonic, Operands	Description	OPcode	Status Affected
LD A, n	Load literal to A	0x3e	-
LD (n), A	Store A to memory cell addressed at (n)	0x32	-
LD A, (n)	Load memory data addressed at (n) to A	0x3a	-
ADD A, n	Add literal and A without Carry	0xc6	C, Z
ADD A, (n)	Add memory data addressed at (n) and A without Carry	0xb6	C, Z
ADC A, (n)	Add memory data addressed at (n) and A with Carry	0x8e	C, Z
SUB A, (n)	Subtract memory data addressed at (n) from A without Borrow	0xd6	C, Z
SBC A, (n)	Subtract memory data addressed at (n) from A with Borrow	0x9e	C, Z
INC A	Increment A	0x3c	C, Z
DEC A	Decrement A	0x3d	C, Z
AND A, n	AND literal and A	0xe6	Z
OR A, n	OR literal and A	0xf6	Z
XOR A, n	EXOR literal and A	0xee	Z
CP A, (n)	Compare A and memory data addressed at (n)	0xbe	C, Z
SHL A	Shift A left	0x27	C, Z
SHR A	Shift A right	0x3f	C, Z
ROL A	Rotate A left	0x17	C, Z

ROR A	Rotate A right	0x1f	C, Z
JP n	Jump to address n	0xc3	-
JP Z n	Jump to address n if Zero is set	0xda	-
JP C n	Jump to address n if Carry is set	0xca	-
CALL n	Subroutine call to program memory address n	0xcd	-
RET	Return the subroutine	0xc9	-
OUT A	Out A to IOB	0xd3	-
IN A	Capture input port data and transfer I/O input buffer data to A	0xdb	-
HALT	System halt	0x76	-

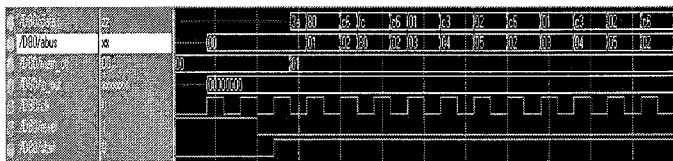


図 2. D80 のシミュレーション結果の例

②マイクロプロセッサ D80 の改良実験

図 1 のマイクロプロセッサの改良を試行させ、マイクロプロセッサ内部の制御回路の機構や各機能ブロックの設計方法を体験学習させる。ここでは、レジスタ追加とこれに伴う新規命令の追加を課題として与えている。

③D80 のマシン語プログラミング

図 1 のマイクロプロセッサ上で動作するマシン語プログラムを設計させ、ハードウェアで実現した方が良い部分とソフトウェア実装に適した部分は何かを考察させる。

④論理合成・実装

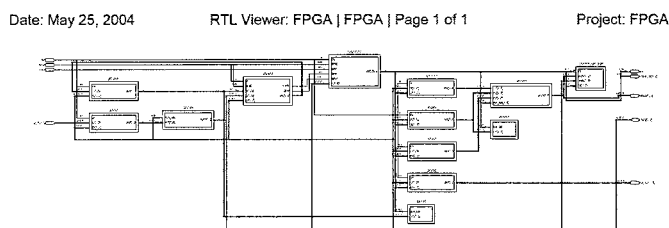


図 3. D80 の論理合成結果

次に設計した HDL を論理合成する。図 3、図 4 は、図 1 のマイクロプロセッサ D80 を論理合成した結果で、階層的なブロック図でゲート回路が表現されている。論理合成を実際に試みることで、論理合成ツールの役割や CAD による自動設計の流れを学習する。また、実際に評価用

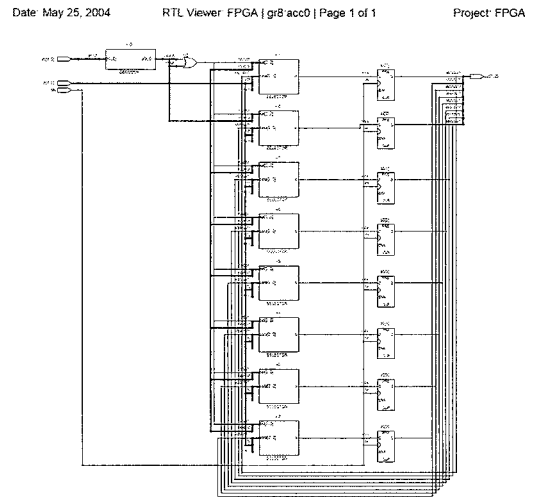


図 4. D80 のゲート回路の一部

FPGA ボードに設計した回路を実装して動作試験を行い、設計から評価までの一連の流れも体験学習できるようにしている。

実習は、全体で 2 時間×5 回分で終わる分量となっている。

3. まとめ

本論文では、電気電子工学系学生を対象とした HDL を用いた集積システム設計を実施した。実装には、比較的安価で、かつ LSI 設計の流れに近い形で実習可能な FPGA を活用した。

本実験により、LSI の設計の流れについて学生の理解が一層深まり、設計する能力も高まること確認された。また、これまでマイクロプロセッサ内部の動作のしくみや設計方法を知らなかった学生も複雑な回路動作について理解が深まること確認できた。

今後も実験の進め方、説明方法など改善を行う予定である。

参考文献

- [1] 小池清之, 青木宏之, 大塚友彦, 加藤 格, 柚賀正光, 正木 進: 低学年の工学導入教育の新しい試み, 平成 15 年度工学・工業教育研究講演会論文集, 2003 年 9 月
- [2] 末吉, 田中, 柴村: 再構成可能な論理 LSI を用いた教育用マイクロプロセッサ: KITE, 信学技法, CPSY92-47, ICD92-87, 1992 年 10 月
- [3] 庄野: 大学における LSI 設計教育-2 ビットマイクロコンピュータ-, 電子情報通信学会誌, vol. 75, no5, pp. 530-533, 1992 年 5 月

(平成16年9月7日 受理)

ネットワーク学習システムの構築構想

青野正宏*, 渋谷 晶**, 高野 修***, 東 健太***, 小嶋徹也*

Framework of Network Learning System

Masahiro AONO, Syo SHIBUYA, Syu TAKANO, Kenta AZUMA, Tetsuya KOJIMA

In order to understand the network, it is required to study both theory and practice. However, in the experiment and training of network construction, inexperienced students tend to cause mistakes. When these are performed using a business network, there are risks of affecting business. Therefore, we built an independent LAN for the education and the experiment from the business LAN. We are planning the various educational experiments which used this LAN. This paper describes the design for educational experiments.

(Keywords: Network, Learning System, LAN, Laboratory)

1. まえがき

情報通信に関しては技術の変化が激しい。このような環境下において、現時点における情報通信の知識を教えるだけでは、すぐに役に立たなくなってしまう恐れが大きい。そのため、将来の技術の革新に耐えうる技術者を養成することが必要と考え、これまで、基礎に主眼をおいて教育を行ってきた。すなわち、何故そのようなことを行うのか、そのような仕組みになっているか、その原理を理解すれば、今後の技術の変化に対しても、その理由を理解し新しい知識を吸収することができるからである。通信に関する電氣的・数学的基礎、通信の歴史、具体的には、プロトコルの種類とその考え方などである。このような考え方にに基づき、情報通信技術を座学中心で実施してきた。

しかし、座学だけでは、現実の通信の仕組みを感じ取ることは難しい。やはり高専教育の特色を出すためには機材を用いた実習が必要である。物理層に関する実験実習やデータリンク層における実習では使用する機材も限定できるため、環境構築も比較的容易である。筆者らはその観点からデータリンク層における学習システム[1]を構築し、年次毎の充実化を図っている。しかし、高次のプロトコル学習は、簡単ではない。ある程度多数のノード(代表的にはパーソナルコンピュータであるので、以下 PC で代表させる。) が必要ならば、学習システムは構築できない。

学内において、教育・研究・事務処理を目的と

した LAN が敷設されている。ただし、この LAN を教育・訓練に用いるわけにはいかない。マンツーマン的な訓練であれば実際の LAN を用いるのはやむを得ない。なにか問題が生じて指導役が復旧させることは比較的容易である。しかし、指導者が少数で被訓練者が多数の場合はそうはいかない。問題が生じた場合の復旧に時間がかかると、LAN 利用者全体への迷惑が大きい。また、わざと異常状態を作り、その解決策を考えさせるというような訓練は困難である。ネットワーク層の理解のため、仮想的に 1 台のコンピュータ内で学習システムを実現する方法も試みているが、残念ながら現実感に乏しいことを実感している。

ところが、最近は PC や通信機器のコストも大幅に下がってきた。また、PC も購入してから数年たつと陳腐化のため、十分使用可能にもかかわらず、最新ソフトウェアの動作が重いため、使用頻度が下がり、事実上休眠状態の PC が増えてきた。しかし、そのような PC でも初歩的なネットワーク通信教育には十分使用できる。核となる最新機器にこのような中古 PC をかき集めれば、実際のインターネットとは切り離れた文字通りローカルな教育用ネットワークが構築できる。校内 LAN やその背後にあるインターネットにつながっていないため、実用システムに影響を与えることはない。

このような情勢から独立した学習・実験用ネットワークを構築することとした。残念ながら体制

が貧弱であるため、一気にネットワークを完成させるわけにはいかず、時間をかけて構築していく予定である。本稿は、まだ実現する前の段階であるが、その青写真を構想という形で示し、今後の開発への指針とすることを目的として発表するものである。

2. 多目的独立ネットワークの構築

LAN 構築の目的は大別して 2 つある。目的のひとつは、本稿の主眼であるネットワークに関する学習である。この目的を細分化するとネットワーク技術者の卵として設定の方法やメッセージの流れの把握、トラブルの理解と対策を経験することである。もうひとつは、電子商取引などネットワークの応用について理解することである。カリキュラム上は工学実験の一テーマとして位置づけている。他の目的としては無線通信方式に関する研究、放送アルゴリズムに関する研究、セキュリティに関する研究など、情報通信に関する研究用として想定している。（図 1 参照）

構成の基準はつぎのとおりである。

- (1) 実運用のネットワークとは切り離れた独立したネットワークであること。
- (2) サブネットの概念を理解するため、複数の LAN で構成する。
- (3) 有線と無線のそれぞれの実験ができるよう、双方の環境を準備する。
- (4) セキュリティに関する実験もできるようにファイアウォールも設ける。
- (5) 放送ネットワーク・映像処理の研究にも使用

多目的独立ネットワーク

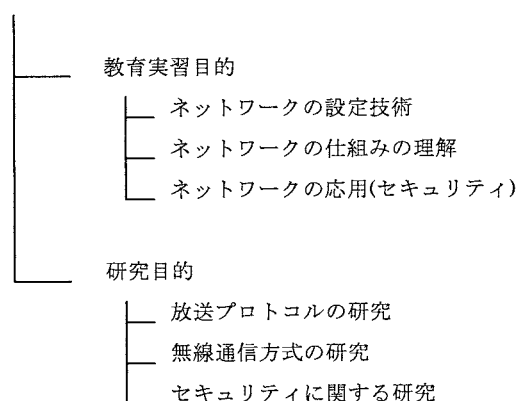


図 1 多目的独立ネットワーク構築の目的

できるよう、必要な機器をシステムに組み込む。

- (6) この構成は単なる標準であり、実験の目的に応じてネットワークのトポロジーは柔軟に組み直すものとする。

研究目的の構成及び利用方法については、本稿ではこれ以上触れない。学習目的に焦点を絞って述べる。ネットワークの利用として最も良く用いられるのは Web と電子メールである。これを実現するため、Web サーバーとメールサーバーをネットワーク内に立てる。その他に通信の仕組みとして DNS サーバー、DHCP サーバーがネットワーク内に必要である。この構成で一般クライアント端末に見立てた PC から Web の閲覧ができるようにする。また、メールサーバーを経由してメールの送受信ができる閉じられたネットワークを構成

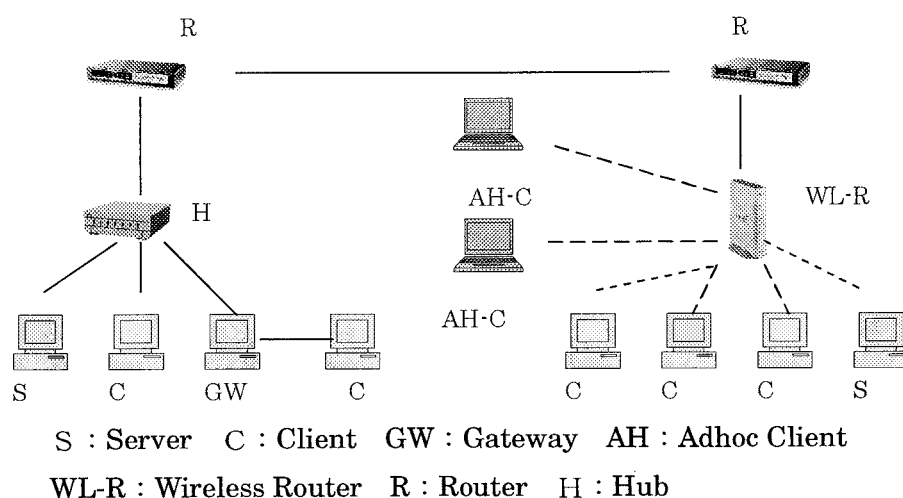


図 2 標準ネットワーク構成

する。標準的な構成を図 2 に示す。この構成は学習実験目的に応じて、適宜構成を変更する。

3. 学習への利用

教育訓練としては、最初に、ユーザとしての基本知識、次に、情報通信技術者として、ネットワーク構成の実験を通じて、機器とツールの理解を行う。また、別の観点として、システムエンジニアとしてネットワーク利用を理解する一環として、電子商取引や電子政府といった応用を経験するような学習形態についても計画している。

3. 1 準備

学習理解や実験の確認のためには、エンドーエンド間の両端の入出力情報だけでなく、ネットワーク上にどのようなデータが流れているか知る必要がある。そのため、パケットキャプチャソフトを利用する。このソフトを用いれば、どのようなパケットが流れているか学習することができる。そのため、パケットキャプチャソフトのインストールとその使い方を学習者に理解させる必要がある。

3. 2 基本知識

まず、一般ユーザとしては PC を LAN に接続さえできれば十分である。TV や電話と同様に LAN に接続さえすれば直ちにネットワークと繋がるという形が理想であるが、現実にはいろいろな設定が必要である。しかし、一般にはそれに近づける努力はなされている。例えば、Window PC を新たに購入して LAN に接続する場合、「コントロールパネル」から「ネットワーク接続」を選び、「ローカルエリア接続」、「プロパティ」、「インターネットプロトコル(TCP/IP)」、「プロパティ」を順次選択し、IP アドレスの設定、DNS サーバーの設定、その他 TCP/IP の詳細設定を行なう必要がある。これらの設定は知識のないユーザでも設定できるよう、システム提供者やネットワーク管理者が、「次は、これを選択して」、「これが表示されたらここにこういう数字を入力して」というように、機械的に設定できるようマニュアルを整備している。それがない場合は、既に設定されている PC を参考に變更しなければならぬところを推定し、設定する。実務的にはこれで十分ネット

ワークに接続できる。しかし、これでは技術者として LAN を理解したことにはならない。教育訓練では、事前に座学による LAN の仕組みの説明、教育用 LAN の構成を現物で確認させた後、設定がなにもなされていない PC において、インターネットプロトコル(TCP/IP)のプロパティまでは機械的に選択させるとして、その後の IP アドレス、サブネットマスク、デフォルトゲートウェイ、DNS サーバーなどの設定を説明なしに実施させるという方法が考えられる。そのときに、実験レポートとして、それぞれの設定をなぜそのようにしたかを答えさせることにより、基本的な LAN の理解は深まることが期待できる。例を挙げる。

- ・ IP アドレスと DNS サーバーのアドレスは(学習目的のため)手動設定とする。
- ・ サブネットマスクとは何か。なぜその値に設定したか。理由を述べよ。
- ・ DNS サーバーとは何か。なぜその値に設定したか理由を述べよ。
- ・ デフォルトゲートウェイとは何か。なぜその値に設定したか理由を述べよ。

等々

である。これにより、単に機械的に設定するだけ、あるいは座学で聞くだけよりも学習効果が上がることが期待できる。

次に、実際のデータの流れを確認する。Web アクセスしたとき 及びメールを送信したとき、どこにどのようなデータが流れているか、確認してその内容を理解する。

3. 3 ネットワーク実験による理解

実用システムとは切り離したネットワークであるので、ネットワーク構成に関するいろいろな実験ができる[2]。ここでは、ネットワーク構成に関する実験を通じて学習者の理解を深める方策を検討する。

実験項目例を挙げる。

(1) ストレートケーブルとクロスケーブルの役割の相違

クロスケーブルとストレートケーブルを本来の使用方法とは異なる使用をした場合、どのような不具合が生じるかを観察することにより、正しい使い方を理解する。

(2) ping の使い方

ネットワーク接続確認に使用される ping について実験する。接続が途切れている端末を検出する。「Reply from xx.xx.xx.xx」, 「Request time out.」, 「Destination host unreachable.」, 「Destination net unreachable.」の応答が返ってくる各ケースの状態を作り出してその意味を考えさせる。逆にそのような応答が返ってくるためにどういう操作をすればそうなるかを考えてもらうなどの実験・課題が挙げられる。そのための手段としては LAN に接続された PC の LAN ケーブルのハブからの挿抜, 無線 LAN 接続の場合は, LAN カードの挿抜などの手段がある。

(3) MAC アドレスと ARP コマンドの使い方の実験

MAC アドレスはどうして探すか, MAC アドレスから IP アドレスを知るにはどうすれば良いかを実験環境を作って確認する。

(4) Hub とスイッチの相違の確認実験

Hub と Switch の機能の相違を確認する実験を行う。大容量ファイルを同時にある PC から同じ Hub または Switch に接続されている他の PC に転送する。これを 1 組から 3 組まで順次増やし, 性能がどう変わるのか Hub と Switch の相違を確認する。(図 3 参照)

(5) IP アドレスとサブネットマスクに関する実験

基本知識のステップにおいて, パラメータの設

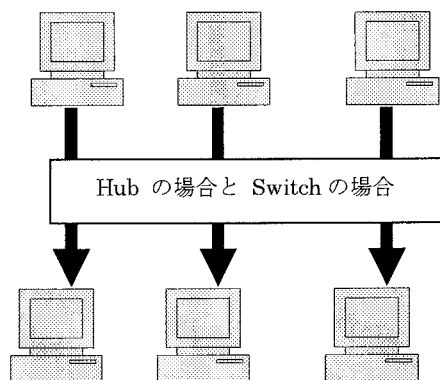


図 3 Hub または Switch を用いた場合の通信実験

定の学習を想定したが, ここでは, いろいろな設定誤りの場合の影響について実験する。複数の PC に同じ IP アドレスを設定すればどういふ障害が起こるか, また PC でなくネットワーク機器の場合はどうなるか, サブネットアドレスの設定を誤ればどうなるか, デフォルトゲートウェイの設定を誤るとどうなるか, などのケースである。

(6) ポートスキャンに関する実験

TCP プロトコルで用いているポート番号の概念を理解するための実験である。ネットワークを用いている複数のアプリケーションを同時に動作させて, ポート番号の使い分けを理解する。なお, ポートスキャンはサイバー攻撃のツールとしても使われる機能であるので, 教育上誤った方向に興味をもたれないよう注意する必要がある。

(7) FTP 通信に関する実験

FTP 通信とはどのようなものか, サーバーを立てて, 実験・理解させる。

(8) IP マスカレードに関する実験

IP マスカレードとはどのようなものか, 実験を通じて理解させる。

3. 4 ネットワーク応用の理解(セキュリティ)

情報通信において今後その比重を増すと考えられるものに, 通信相手との信頼性確保が極めて重要で, 通信の事実を証拠として保全できるような技術が求められる電子商取引・電子政府というような応用が考えられる。このような応用分野では, 共通鍵暗号技術, 公開鍵暗号技術, ハッシュ関数といった基礎技術と, それをベースとする署名, 認証, 公開鍵基盤などの応用技術を要素として用いている。ここでは, この応用がどの技術がどこに利用されているかを理解させることを目的としている。従って, 個々の基礎技術は一応理解していることを前提とする。しかし, 数学的に深く理解している必要は必ずしもない。

ネットワーク中の PC (及びその PC に付く学生) をロールプレイングゲームの手法を用いて役割分担と名付けを行う。その名称は, 本分野で使われている慣行を踏襲し, 取引の当事者を Alice, その相手を Bob と呼ぶこととし, その他の登場者

を Carroll, Dave (第三者以降は慣行でもその名称ははっきり固まっていない。)と呼ぶこととする。

(1) 盗聴防止のための暗号化の必要性

実際には実験しなくても簡単に直感で理解できる状況の確認からスタートする。Alice から Bob にメールを送る。これを Carroll が盗聴するケースを考える。盗聴の具体的方法は sniffing など簡単に実現する技術があり、リアル感を出すためには、実際の傍受手法を用いて盗聴する方法を採用するほうが良いが、教育訓練の過程で不心得な者の盗聴実行を誘発する恐れがあるので、敢えて単純に Alice から Bob にメールを送るとき、Carroll に Bcc を送る形で代替する。こうしておいて、平文を送付すると Carroll に解読され、Alice と Bob に共通鍵での暗号文を送ると解読できないことを見せる。

(2) 中間者攻撃の危険とその防止

次のステップでは暗号化しただけでは、安全でないことを理解させる。Alice は Bob にある商品の注文書のメールを暗号で送る。Carroll が Alice と Bob の中間に立ち、Alice の注文書を(注文書らしいことを推定するが)キャプチャーする。その後、Carroll が内容不明のまま Alice のメールを再送すれば二重注文ができてしまう。

タイムスタンプ情報を付加するか 1 回毎に同期して共通鍵が変化する方式を採用すれば、このような攻撃は防止できることを示す。

(3) なりすましの防止

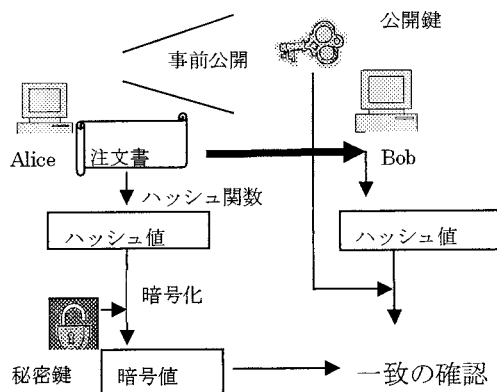


図4 公開鍵による本人確認

Alice は Bob に注文書を送る。しかし、本当に Alice から注文が送られてきたものかどうか Bob は単なる平文や暗号文のみでは確認できない。IP を誤魔化せば Carroll から注文書を Alice に送ることができる。その対策として公開鍵とハッシュ関数を用いて解決する方法を実例として示す。Alice は注文書に事前に取り決めたハッシュ関数を用いてハッシュ値を計算する。そのハッシュ値を Alice の秘密鍵で暗号化する。注文書自身も本来は暗号化することが盗聴防止のため望ましいが、ここでは仕組みを簡単にして理解しやすくするため、第三者に内容を知られてもかまわないものとする。それであれば平文のまま注文書を Bob に送付してもかまわない。これに暗号化されたハッシュ値を添付して送る。Bob は注文書を Alice が用いた同じハッシュ関数を用いてハッシュ値を求める。添付されてきた暗号化されたハッシュ値を公開されている Alice の公開鍵で復号化する。復号化したハッシュ値と Bob が計算したハッシュ値が一致すれば、Alice から送られてきたハッシュ値が本物であることが確認できる。

秘密鍵を知らない Carroll であれば、ハッシュ値までは作成することはできても、その暗号値までは作れないことを示して、学習者にその仕組みを理解させる。

(4) 公開鍵基盤の理解

「なりすましの防止」において、Bob が Alice のことを知らなければ Alice が信用できる人間かわからない。また、Alice のことを知っていても公開された Alice の公開鍵が本当に Alice のものであるかどうか確認することが困難である。そのため認証局で証明を受けるという方法があるが、これをモデルシステムにより理解する。

Dave は認証局とする。Dave は著名企業であり、その公開鍵は広く世間に認知されているものとする。Alice はオフラインで Dave に認知を申請する。審査により Dave が Alice を信用できる者と認めた場合、Alice の公開鍵及び関連する情報を Dave の秘密鍵で暗号化することにより証明する。暗号化された値が証明書となる。Alice は Bob に注文書を送るとき、自分の公開鍵が真正のものであり、信用できる者であることを示すため、Dave の証明書を添付する。Bob は Dave の証明書を Dave

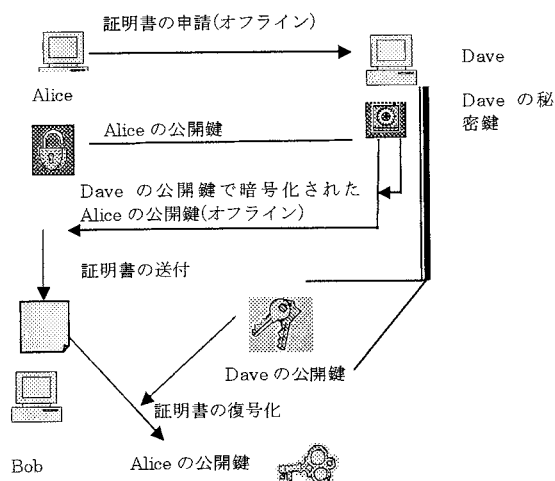


図5 公開鍵基盤の簡略モデル

の公開鍵で復号化し、Alice が信用できること及び Alice の公開鍵を得る。以下の手順は「なりすましの防止」と同じである。

(注：実際にはこれほど単純ではないが、本質のみを理解させるため、付加的な情報はモデルシステムから省いて単純化。)

4. 今後の展望

当面の目標は、現実のネットワークの仕組みを学習ネットワークで追体験したり、パケットキャプチャソフトでパケットの流れを確認して、理解できるようにしたりすることと、実験的に誤った異常状態を作り出し、そこで経験したことでネットワークに関する知識の幅を設けることである。学習システムの評価はまず、少人数の学生(まず研究室内中心で行い、アンケートなどで座学のみによる学習より効果があるかどうかを評価する。評価が低ければ、意義の小さい実験を中止し、ある程度以上に意義が認められる実験には実用的効果が得られる方法について再検討しなければならない。

ある程度、意義が認められれば、工学実験や情報通信工学の授業カリキュラムのなかに組み込んでいく。そのときに解決しなければならない問題は、多人数をいかに効率的に実習教育に組み込んでいくかである。このような教育研究に取り組んだ事例では、学生それぞれがノートパソコン持参を前提にシステムを構築することを前提としている

[3]. 演習室の機器とスペースもある程度大きくとる必要があるが、限られた受講者と受講回数では難しい。仮想的な環境で行う方式[4]では現実感が乏しい。当面は工学実験のなかに取り入れる方式で検討するが、カリキュラムにおける学習の順序との整合性などが課題である。

参考文献

- [1]青野他：データリンクプロトコルの体系的学習システム，東京工業高等専門学校研究報告，第34(1)号，pp.59-64(2002年9月)
- [2]水岡祥二他：ネットワーク実験室・新ネットワーク実験室，日経ネットワーク連載記事(2001年4月～2004年3月)
- [3]三井浩康他：情報ネットワークシステム構築学生実験の提案と実施評価，情報処理学会論文誌，Vol43. No.9 pp2948-2958，(2002年9月)
- [4]中川泰宏他：ネットワーク管理者教育における仮想マシンを利用した実践的学習環境の構築，FIT(情報科学技術フォーラム)2003 Vol.4 pp.285-286，(2003年9月)

(平成 16 年 9 月 30 日受理)

教育用計算機設計システムの開発について

—コンピュータ教育用 CPU シミュレータ SimTKBC の構築—

横山繁盛*, 鈴木 孝*, 市村 洋*

A Computer Design System for Basics of Computer Education

—Development of CPU Simulator for Computer Education—

Shigemori YOKOYAMA, Takashi SUZUKI, Hiroshi ICHIMURA

In the Department of Computer Science, students learn the curriculum for the basis of computers. That is one of the core curriculums in the course of computer science and was introduced in 2001. The utilization and application of computer is increasing in almost all the fields in the world. However the opportunity to learn the computer fundamentals is decreasing. The necessity of the new education system for learning the principles of computers is now emphasized. The simulation system for Tokyo Kosen Basic Computers (SimTKBC) is the tool of the education for the basics of computers and is developing now. SimTKBC consists of a microprogram assembler and a microprogram simulator. In the subject of the elementary computer hardware, a basic computer is designed with the use of SimTKBC.

(Keywords : computer hardware education, microprogram assembler, microprogram simulator, computer science)

1. はじめに

本校情報工学科では, 新しい時代に対応した教育理念と新カリキュラムのため, まず平成 12 年の初頭に「情報工学科教育理念」として, 次の 3 つをまとめた。

- (1) 情報革新に柔軟に対応できる技術者
- (2) ものづくりの「ちえ」(creativity)を身に着けた技術者
- (3) 表現・討論のできる技術者

これらの理念の基に, 各分野との有機的な連携を図り, 同年秋に新カリキュラムとして具体的な科目名を決定し, 平成 13 年入学の 1 年生から実施している。

情報工学の基礎分野の 1 つであるコンピュータ・ハードウェア分野では, 論理回路に始まり, 計算機を設計製作する技術を習得するまでの教育をおこなっている。この分野は, 理念(2)の「ものづくり」に直接対応しており, 大学とは異なる高専教育の特徴となる。単に座学の知識だけではな

く, 直接学生が自らの手を使って設計製作の体験をすることにより, ものづくりの知恵を身につけ, 自ら考えて問題解決する能力を養うことを目指している。特に汎用マイクロプロセッサを用いたシステム設計手法を身につけ, ハードウェアとソフトウェアのバランスした応用ができる技術者の育成をめざしている。

情報技術の発展と普及は著しいが, 卒業後情報技術分野で技術者として活躍していくためには, ハードウェア及びソフトウェアを含めた計算機の基本概念を十分に理解しておく必要がある。しかしながら, コンピュータ技術の発展と高度化, その社会のあらゆる分野での利用が拡大するに従い, 次第にコンピュータやそれを含むシステムの内部が一般の目にはますます見えなくなっている。これは教育現場でも例外ではない。このため, 計算機の基礎教育段階でのより一層の教育の充実化の必要性が高まっている。

前記のハードウェア専門分野の教育理念及び周

困状況を踏まえて、コンピュータの基本的な概念及びコンピュータ・ハードウェアとソフトウェアを一体化させた教育について検討してきた。その結果が本報告であり、教育用ツールとして開発中の教育用計算機設計システムについて 2 章以降で述べる。

一方、本教育研究を執筆中に平成 17 年度からの括り相当入試による教育の全貌が明確になり、本格的専門教育は、実質 2 年次以降に繰り上がるようになった。この状況変化に対処すべく情報工学ハードウェア専門科目間およびソフトウェア科目との連携については、本報告を基に再度検討することになるが、本報告の本質はそのまま生きると考えている。

2. コンピュータ・ハードウェア教育

2.1 現行のコンピュータ・ハードウェア教育

図 1 に、現在のコンピュータ・ハードウェア系科目のカリキュラム構成の流れを図示する。図の中央がそれらの科目群である。

これらの分野は、コンピュータ技術の根幹を成しており、情報工学の他分野との関連が深い。図 1 では、専門基礎科目となる電気回路・電子回路、

情報工学の他の基礎分野であるコンピュータ・ソフトウェア系科目、制御系科目、情報通信系科目との関連も合わせて図示している。

カリキュラムの流れを簡単に説明する。1 年前期では、「情報工学概論」で、コンピュータの動作の仕組みの基礎と共に、2 進数について教える。1 年後期から「論理回路 I」が始まり、ブール代数、組み合わせ回路を習得する。2 年前期の「論理回路 II」では順序回路を学び、論理回路の基礎を終了する。さらに 2 年後期からの「電子計算機 I」では、SBC(シングルボード・コンピュータ)を用いたアセンブリ言語を学び、3 年前期の「電子計算機 II」では、その応用として簡単なオペレーティングシステム(OS) のスケジューラの課題演習を行う。

論理回路の応用として 3 年前期では、「実装論理設計」による課題設計製作を行う。さらにマイクロプロセッサを用いたコンピュータシステムを理解するための基礎を「実装計算機設計 I」で学び、その応用設計と課題製作演習を「実装計算機設計 II」で行う。

以上を終了した時点でのコンピュータ・ハードウェア系科目の到達目標は次のとおりである。

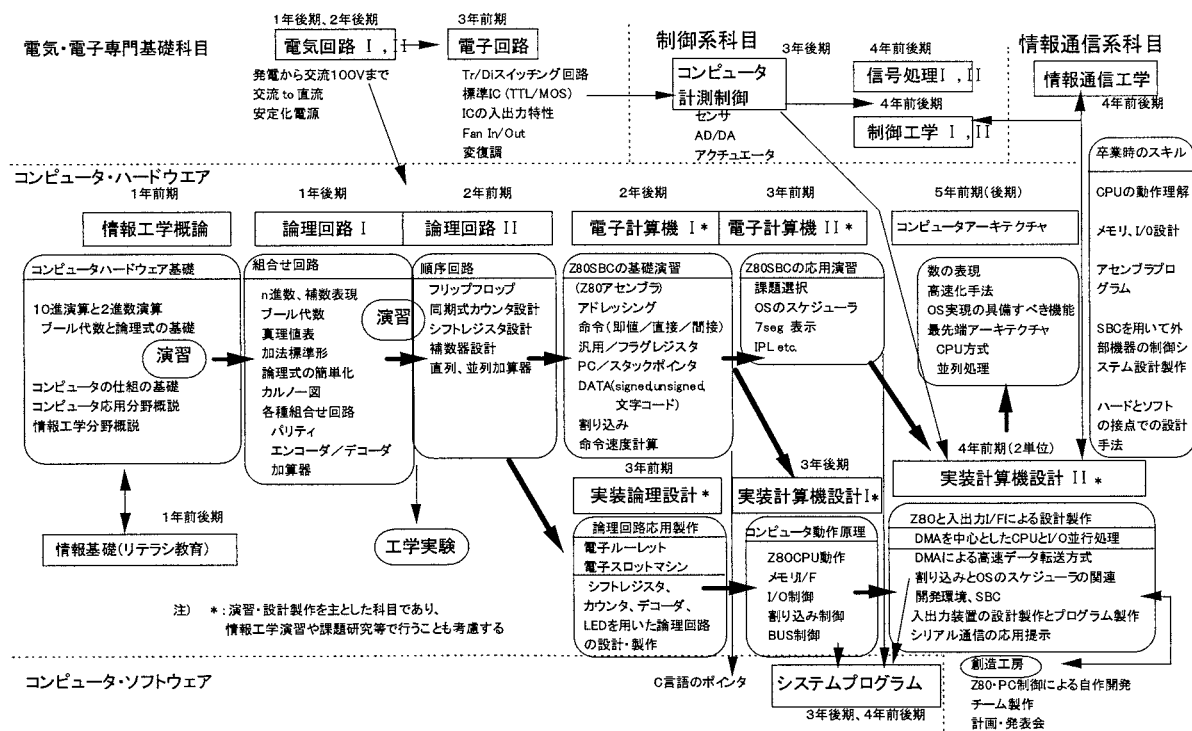


図 1 コンピュータ・ハードウェア系科目のカリキュラム構成

マイクロプロセッサの動作を理解し、メモリや I/O 装置を接続する論理回路が設計できて、アセンブリ言語によって、それらの資源をアクセスするプログラムを書くことができる。入出力データの DMA 転送による CPU と I/O の並行動作と、OS のスケジュール管理の関係を理解する。

2.2 コンピュータ・ハードウェア教育の改善

コンピュータ・ハードウェア教育については、2.1 で述べたような科目構成で進めているが、ハードウェアとソフトウェアは一体のものであり切り離して考えることはできない。今後、ハードウェア及びソフトウェアを合わせた計算機の基本的な概念を学べるようにハードウェア系科目の再編成を検討している。

この方策の一つとして、教育用ツールとしての教育用計算機設計システムを開発し、それを利用して基礎的な計算機を設計する科目を設ける。この科目により、次のような教育効果が期待できる。

- ・ 論理回路の科目の延長上で計算機ハードウェアが理解できる。
- ・ 計算機を設計することで、計算機の基本原理が理解できる。
- ・ 計算機ハードウェアと機械語命令との関係が理解できる。
- ・ 計算機の性能を決める要素や、機械語命令セットとの関係について理解できる。
- ・ 割込みがプログラムの文脈を切り替える機能であることを理解し、割込みがプログラムを制御するための重要な機能であることを理解できる。
- ・ C 言語のデータ型、数値処理、文字処理、制御がどのような機械語命令により実行されるのかを学ぶことで機械語命令と C 言語等のプログラミング言語との関係を理解できる。

次に、現在開発中の教育用計算機設計システムについて述べる。

3. 教育用計算機設計システム

3.1 教育用ツールとしての教育用計算機設計システム

計算機基礎教育の科目として基礎計算機設計を設ける。ここでは、教育用計算機設計システムを

用いて基礎的な計算機を設計し、計算機の基本的な概念を学ぶ。具体的には、あらかじめ課題として簡単な機械語命令のセットを与え、教育用計算機設計システムを使用して機械語命令を実行するためのマイクロプログラムを設計する。機械語命令で簡単なプログラムを作成しシミュレータ上で動作確認をおこなう。この科目により、計算機設計におけるマイクロプログラムの役割、計算機の基礎概念としての逐次制御、ストアプログラム方式、計算機の性能を決める命令の実行速度等を学ぶことができる。

3.2 教育用計算機設計システムの構成

3.2.1 中央処理装置の制御方式

中央処理装置(CPU)の制御方式には、ワイヤードロジック(結線論理)制御方式と、マイクロプログラム制御方式があるが、小規模なマイクロコンピュータを除けば、ほとんどがマイクロプログラム制御方式を採用している。これは複雑さを増す計算機の機能の実現には、設計により柔軟性のあるマイクロプログラム制御方式が適していることによる。一方、この複雑さを増す計算機の反省から RISC(Reduced Instruction Set Computer)の考え方が導入され、制御方式にはワイヤードロジック制御方式が採用された。一時期は、高性能マイクロコンピュータはほとんど RISC 方式を採用の時代もあった。これに対して従来方式の計算機は CISC(Complex Instruction Set Computer)方式と呼ばれた。しかしその後、CISC においても RISC の長所を取り入れ高性能化が図られている。

マイクロプログラム制御方式採用の計算機の設計においては、マイクロプログラムシミュレータを構築しマイクロプログラムの開発と計算機アーキテクチャの検証がおこなわれる。この計算機の開発用に構築されるマイクロプログラムシミュレータを、教育用計算機設計システムに利用する。

なお、マイクロ命令には、いわゆる水平型と垂直型があるが、教育目的のため、ハードウェアのゲートを直接制御する方式の水平型のマイクロ命令を採用する。マイクロプログラム制御方式の計算機においては、基本的なシーケンス制御がマイクロプログラムによっておこなわれるため、マイクロ命令を理解することにより計算機ハードウェアの論理的な構造を理解することができる。さら

ックで実行される。マイクロ命令の主なフィールドを次に述べる。F, X, Y, AI の各フィールドは演算器(ALU)を制御し, F は加算/減算/論理演算等の ALU 機能を指定, X と Y はそれぞれ ALU の X 側と Y 側の入力レジスタを指定, AI はキャリー入力を指定する。A, B, C の各フィールドはそれぞれ AR レジスタ, BR レジスタ, CR レジスタの入力を指定する。MQ フィールドはメモリリクエスト制御, MISC フィールドは多目的制御をおこなう。CM, FB, TX, TY, CA のフィールドは制御メモリアドレスレジスタ(CA)の入力を制御し, 次に実行すべきマイクロ命令のアドレスを決定する。TX と TY は, それぞれハードウェアテスト条件を指定して CA の下位 2 ビットを決定し, 2 ウェイ(方向)または 4 ウェイ(方向)のブランチをおこなう。FB フィールドは, 命令デコード等のため, 指定されたレジスタの 4 ビットのフィールドを制御メモリアドレスの上位 4 ビットに設定することにより, 16 ウェイのマルチウェイ(多方向)ブランチをおこなう。

3.2.3 教育用計算機開発システムの構成

(1) システムの構成

図 6 に教育用計算機設計システムの構成を示す。教育用計算機設計システムは, マイクロプログラムのアセンブラコードで記述されたマイクロ命令のプログラムであるマイクロプログラムソースプ

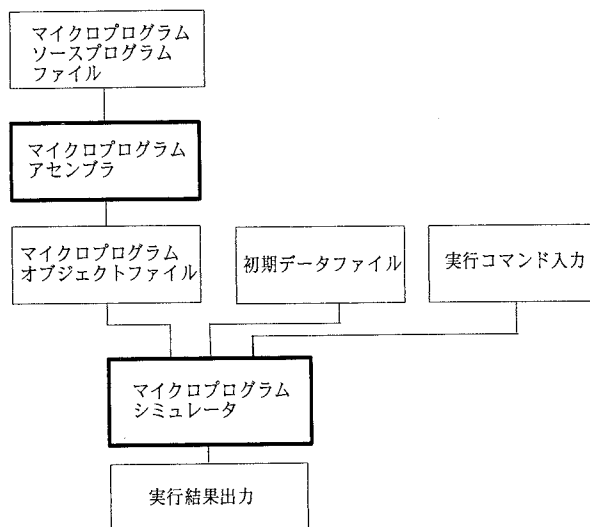


図 6 教育用計算機開発システムの構成

ログラムを入力とし, マイクロプログラムアセンブラでアセンブルをおこなってバイナリコードに変換し, 次にそれを入力としてマイクロプログラムシミュレータ上でマイクロプログラムのシミュレーションをおこなうシステムである。

(2) マイクロプログラムアセンブラ

マイクロプログラムアセンブラは, ニーモニックコードで記述されたマイクロプログラムソースプログラムファイルを入力とし, ニーモニックコードをバイナリコードに変換するとともに, アドレス割付をおこなってすべてのフィールドをバイナリコードに変換する。通常の機械語命令は, ブランチ命令で指定される場合以外はメモリ上のアドレスの順番に実行されるが, マイクロ命令では命令毎に条件判定をおこない常にブランチをする方式のためアドレス割付が複雑になる。このためプログラムでの割付処理を容易にするためアドレス割付用の情報をマイクロプログラムのソースプログラムの中で記述する。図 7 にマイクロプログラムのソースプログラムの例を示す。

```

IF00XXX {
  PC->MA MRQ /* 命令フェッチ */
  '02'>BR /* 定数をBRに設定 */
  TO IF01XXX }
IF01XXX {
  PC+BR->PC /* PCのカウントアップ */
  MM->MD /* メモリ同期 */
  OP23->CF /* OPコードによるマルチウェイ・ブランチの準備 */
  TO IF02X(OP0, OP1) /* OPコードによる4ウェイ・ブランチ */
IF02X00 {
  GR(R1)->AR /* 汎用レジスタにある第1オペランド->AR */
  OP47->CF /* OPコードによるマルチウェイ・ブランチの準備 */
  TO IF03(CF)XX /* OPコードによるマルチウェイ・ブランチ */
IF030XX {
  GR(R2)->BR /* 汎用レジスタにある第2オペランド->AR */
  TO IF04(CF)XX /* OPコードによるマルチウェイ・ブランチの準備 */
IF041XX { /* ADD RR命令の実行 */
  AR+BR->CR /* 加算の実行 */
  ACC SET /* コンディションコードのセット */
  *CR->GR(R1) /* 結果を第1オペランドに格納 */
  TO EX00X(EXP, X) /* 例外条件のテスト */
  
```

図 7 マイクロプログラムのソースプログラム例

(3) マイクロプログラムシミュレータ

マイクロプログラムシミュレータは, 制御メモリに格納されたマイクロプログラムを実行し CPU のシミュレーションをおこなう。図 8 にマイクロプログラムシミュレータの構成を示す。図において, 定義部では, 実際のハードウェア回路に対応するレジスタ, 内部レジスタ, 演算器, 内部

メモリ，制御メモリ，主メモリ等を定義する。この定義部で基本教育用計算機のハードウェアが定義されるが，高性能化の拡張が可能である。初期設定部は，リセット動作に相当する内部レジスタ

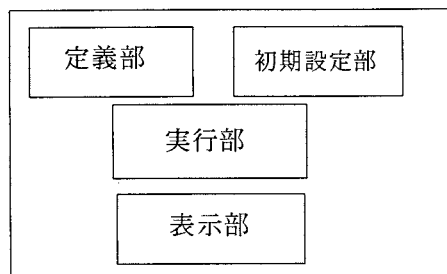


図 8 マイクロプログラムシミュレータの構成

の初期設定，マイクロプログラムオブジェクトファイルの制御メモリへの格納，初期データファイルで指定された主メモリやレジスタの初期データの設定をおこなう。実行部は，実行コマンドの指示に従い，制御メモリからマイクロ命令を読み出し各フィールドで指定されたマイクロオペレーションを実行する。表示部では，実行コマンドの指示により，レジスタ，内部レジスタ，内部メモリ，主メモリの内容を表示する。

3.3 計算機的设计

計算機的设计には次のパラメータを決める必要がある。

- (a) 目標性能
- (b) ワード長
- (c) 主記憶の容量
- (d) 主記憶のアクセス幅
- (e) 記憶の階層
- (f) 命令長
- (g) 命令の種類
- (h) レジスタの種類と数
- (i) 制御方式
- (j) 内部レジスタ構成
- (k) 使用論理素子と記憶素子

計算機的设计では，これらのパラメータを決めることも设计に含まれるが，教育用計算機设计システムでは，既定値としてこれらのパラメータの一部を除いてあらかじめ決定し教育用基本計算機のハードウェアとして組み込む。初級基礎計算機

设计の科目では，課題として与えられた機械語命令セットを定義されているマイクロ命令を使用してマイクロプログラム设计することにより教育用基本計算機的设计をおこなう。中級以上の基礎計算機设计の科目では，上記パラメータを含んだ设计をおこなうことでより高度な計算機设计が可能である。

3.4 計算機设计の評価

計算機设计の評価の基本は，計算機の性能とハードウェア量である。教育用計算機设计システムでは，命令速度に対応する各機械語命令の実行ステップ数(クロック数)とハードウェア量で計算機设计を評価する。実行ステップ数は機械語命令に対応するマイクロプログラムの実行ステップ数であり命令の速度に対応する。ハードウェア量の基本は，教育用基本計算機のハードウェアをゲート数換算する。ハードウェアを拡張した場合には，対応するハードウェアをゲート数換算して加算する。

4. 教育用計算機设计システムを用いた計算機基礎教育

教育用計算機设计システムを利用した計算機基礎教育の科目として，計算機设计Ⅰと計算機设计Ⅱを設ける。計算機设计Ⅰでは計算機の基本を教育し，計算機设计Ⅱでは計算機アーキテクチャおよび機械語命令とプログラミング言語の関係を教育する。

4.1 計算機设计Ⅰ

この科目では，最初に基本的な機械語命令のセットと，それを実行させるための計算機ハードウェアを提示し，教育用計算機设计システム上で機械語命令の设计，製作，及び試験までをおこなう。最初に機械語命令のセットと計算機ハードウェアを理解した後，機械語命令を実現するためのマイクロ命令によるマイクロプログラムを设计する。次に，マイクロプログラムをマイクロ命令のニーモニックコードを用いてコーディングし，マイクロプログラムアセンブラーでアセンブル及びアドレス割付をおこない，マイクロプログラムのオブジェクトモジュールを作成する。次の試験では，

オブジェクトモジュールを用いてマイクロプログラムシミュレータによるシミュレーションをおこない、正しい結果が得られない場合にはマイクロプログラムを修正し再度アセンブルした後シミュレーションを行い、正しく機械語命令が実行されていることが確認できるまで繰り返す。

4.2 計算機設計Ⅱ

この科目は、計算機設計Ⅰの履修を前提とする。最初に基本機械語命令セットとそれを実行するマイクロプログラム及び課題プログラムを提示する。まず、C 言語で課題プログラムをプログラミングし、次にこれを機械語命令に変換する。機械語命令語に変換されたプログラムを教育用計算機設計システムを使用してシミュレーションをおこない性能を評価する。次に機械語命令を分析し、性能向上のため機械語命令の高速化や、機械語命令の追加を検討する。命令の高速化及び追加命令のためのマイクロプログラムを作成し、それによる性能向上を評価する。これら一連の過程により、C 言語と機械語命令すなわちハードウェアとの関係を理解し、ハードウェアの効率的な利用方法を学ぶことができる。

5. まとめ

情報工学科の計算機基礎教育における計算機基礎概念の教育のための教育用ツールとしての教育用計算機設計システムを紹介した。コンピュータが社会のあらゆる分野での利用が拡大するに従い、逆にコンピュータやそれを含むシステムが一般の目にはその内部がますます見えにくくなっている。これは教育現場でも例外ではない。教育用計算機設計システムを利用して計算機を設計することで、計算機の基本が理解でき、さらに機械語命令と高級言語である C 言語との関係を理解することで、ハードウェアとソフトウェアを合わせた計算機の基本を理解することができる。将来、本システムをさらにコンピュータアーキテクチャ及びオペレーティングシステムの教育用ツールとして利用していく予定である。

ハードウェア専門分野の教育理念及び社会状況を踏まえて、コンピュータの基本的な概念及びコンピュータ・ハードウェアとソフトウェアを一体

化させた教育を検討してきた結果が本報告である。

しかし、本教育研究を執筆中に平成 17 年度からの括り相当入試による教育の全貌が明確になり、本格的専門教育は、実質 2 年次以降に繰り上がるようになった。この状況変化に対処すべく情報工学ハードウェア専門科目間およびソフトウェア科目との連携については、本報告を基に再度検討することになるが、本報告の本質はそのまま生きると考えている。

参考文献

- 1) 鈴木 孝, 平尾友一: コンピュータ・ハードウェア教育の取り組みについて, 東京高専研究報告書 第 33(1)号, pp.83-90, 2001.
- 2) アーサー・W・パークス, アリス・R・パークス, 大座畑重光(監訳): 誰がコンピュータを発明したか, 工業調査会, 1998-07.
- 3) 馬場敬信: コンピュータアーキテクチャ(改訂 2 版), オーム社, 2000-02.
- 4) 富田真治: コンピュータアーキテクチャ, 丸善, 2000-09.
- 5) ジョン・L・ヘネシー, デイビッド・A・パターソン, 成田光彰(訳): コンピュータの構成と設計 第 2 版 上/下, 日経 BP 社, 1999-05.

(平成16年 9 月30日 受理)

高次統計量を用いた独立成分分析のための オンライン型アルゴリズムに関する一検討

小嶋徹也*, 横山結里**, 板垣智彦***, 青野正宏*

On an On-Line Algorithm for Independent Component Analysis Using Higher-Order Statistics

Tetsuya KOJIMA, Yuri YOKOYAMA, Tomohiko ITAGAKI and Masahiro AONO

The aim of independent component analysis (ICA) is to extract the mutually independent components from the given vector-valued signal. It is known that higher-order statistical approaches are efficient to solve this problem. A batch algorithm using the fourth-order cumulants has been proposed by the authors. On-line algorithms, however, are required in some cases such as the separation of speech signals, the demodulation of the wireless communication signals, and so on. In this paper, we proposed an on-line algorithm for ICA problems based upon the fourth-order cumulants. The efficiency of the algorithm is evaluated by some numerical simulations.

(Keywords: independent component analysis (ICA), cumulant, on-line algorithm)

1 はじめに

独立成分分析 (ICA: Independent Component Analysis) は, ベクトル値をとる観測信号から互いに独立な成分を抽出する問題である. 特に, 互いに独立な情報源信号が線形に混合されたものを観測信号と考える場合は, この問題はブラインド情報源分離問題と呼ばれ, 画像や音声処理, さらに無線通信や医療情報処理分野などへの応用も提案されつつある [1, 17]. 一般に, 観測信号から互いに無相関な成分を抽出する問題は主成分分析 (PCA: Principal Component Analysis) と呼ばれ, 共分散など 2 次の統計量を用いた解析法が知られているが, ICA では, さらに高次の統計量を必要とする場合が多い.

このような問題に対して, これまでに最尤法に基づく解法 [8] や相互情報量の最小化 [7, 14], Jacobi 法によるキウムラント・テンソルの同時対角化 [4, 5, 6] など, 数多くの解法が提案されている. これまでの研究では, 独立な信号を抽出するためのコントラスト関数として, エントロピーや相互情

報量を用いられているほか, 4 次のモーメントやキウムラントなどといった高次の統計量に基づくコントラスト関数を用いた手法も提案されている [4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17].

取り扱う信号が静止画像であるような, 処理のリアルタイム性が要求されない場合には, 一度すべてのデータを入力してから信号抽出 (分離) 処理を行なう, いわゆるバッチ処理型のアルゴリズムが用いられる場合が多い. これに対し, 音声信号や無線通信における変調波を分離する場合には, 観測データが入力されると同時に分離された信号が出力されるような, リアルタイム性の高い処理が要求される場合がある. このような要求に対応するため, オンライン型 (適応型) のアルゴリズムも数多く提案されている [2, 3, 5, 15, 17].

高次のキウムラントを用いたアルゴリズムの多くは, 観測信号の 2 次無相関化と直交変換 (回転) の二段階から構成される. 前者が信号の 2 次の統計量に基づく解析であり, 原理的に主成分分析を行なっていることと同値であるのに対し, 後者においては 3 次以上の高次の統計量が重要な役割を

果たす．特に，2つの信号のみを観測して，そこから2つの独立成分を抽出する場合には，高次のキウムラントを用いて定義されたコントラスト関数は，ただ1個の回転角 θ の関数として表すことができ，この回転角を厳密に求めることができるコントラスト関数のクラスに関する考察も行なわれている [11, 12]．

Zarzoso *et al.* は，高次の統計量に基づいてはいるが，明示的なコントラスト関数を用いないアルゴリズムを提案し，さらには同手法のオンライン化を行なった上で，その有効性について検証している [15, 16, 17]．この手法においても，最適な回転角を厳密に求めることが可能であるが，実は，提案者らの意図とは異なり，コントラスト関数としてただ1個の4次キウムラントを用いた場合と同値であることが簡単に証明できる [11, 12]．同手法以外にも，回転角が厳密に求められるコントラスト関数はさまざまなバリエーションが考えられるが，一般的なコントラスト関数を用いた場合について，アルゴリズムのオンライン化を行なった例はこれまでのところ知られていない．

本研究では，回転角が厳密に求まるような高次のキウムラントに基づくアルゴリズムのうち，4次クロスキウムラントの2乗和をコントラスト関数とするもののオンライン化を行なう．このアルゴリズムで用いられるコントラスト関数は，信号の4次のクロスキウムラントをすべて用いるもので，回転角の厳密解が求まるコントラスト関数の中でも比較的一般性の高いものであるといえる．

本論文は以下のように構成されている．第2節では，独立成分分析の問題の定式化といくつかの準備を行ない，第3節において，本論文で取り扱うコントラスト関数と，それを用いたバッチ処理型の二段階アルゴリズムに関する説明を行なう．第4節で，同アルゴリズムのオンライン版を提案し，第5節では，数値実験を通じた検証を行ない，第6節で結論を述べる．

2 準備

2.1 独立成分分析 (ICA)

$\mathbf{x}(t) \stackrel{\text{def}}{=} [x_0(t), x_1(t), \dots, x_{m-1}(t)]^T$ を，離散時刻 $t = 0, 1, \dots, N-1$ における m 次元ベクトル

値信号の実現値とする．(T は行列またはベクトルの転置を表す．) 各成分の時間系列 $\{x_i(t)\}_{t=0}^{N-1}$ は，定常エルゴードな確率過程と見なせるものと仮定する．

独立成分分析 (ICA) の目的は，このようなベクトル値信号のみを観測して， n ($n \leq m$) 個の互いに独立な成分を抽出することである．すなわち，

$$\mathbf{z}(t) = W\mathbf{x}(t) \quad (1)$$

なる変換により，各成分が互いに独立な n 次元ベクトル値信号 $\mathbf{z}(t)$ を得る問題であると言い換えることもできる．ここで， W は正則で時刻 t に依存しない $n \times m$ 行列である．観測信号 $\mathbf{x}(t)$ として n 個の互いに独立な情報源信号が線形に混合されたものを考える場合，この問題はブラインド情報源分離問題 (BSS: Blind Source Separation) とも呼ばれる．本論文では，簡単のため， $n = m = 2$ の場合のみを論じる．すなわち，2次元ベクトル値信号を観測し，そこから2個の独立成分を抽出する問題を考える．このとき， W は 2×2 行列である．

2.2 記号の定義

観測信号が定常エルゴードな確率過程と見なせるという仮定より，ある離散時間系列 $r \stackrel{\text{def}}{=} \{r(t)\}$ ， $t = 0, 1, \dots, N-1$ の標本平均 $\frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} r(t)$ は $N \rightarrow \infty$ のとき，期待値

$$E[R] \stackrel{\text{def}}{=} \int q_R(r) \cdot r \, dr \quad (2)$$

に収束する．ここで， $q_R(r)$ は，信号 $r(t)$ の確率密度関数（仮定により時刻 t によらない）であり， R は q_R に従う任意の確率変数である．（以下，一般の定常時系列に対し同様の記法を用いる．）したがって，信号値系列の長さ N が十分大きいとき，以下の議論における信号値系列の期待値はすべて標本平均で置き換えても差し支えない．

m 次元ベクトル値信号 $\mathbf{r}(t)$ の平均値の周りにおける d 次モーメント (d -th order moment) を

$$\mu_{i_1 i_2 \dots i_d}^R \stackrel{\text{def}}{=} E \left[\prod_{k=1}^d (R_{i_k} - E[R_{i_k}]) \right] \quad (3)$$

で定義する．ここで，添え字 $i_1, i_2, \dots, i_d$ は，それぞれ $\{0, 1, \dots, m-1\}$ のうちいずれかの値をとる

ものとする. 次に, 信号 $\mathbf{r}(t)$ の d 次キウムラント (d -th order cumulant) を

$$\kappa_{i_1 i_2 \dots i_d}^R \stackrel{\text{def}}{=} \partial_{i_1} \partial_{i_2} \dots \partial_{i_d} \Psi_R(\boldsymbol{\xi})|_{\xi_0=\dots=\xi_{m-1}=0} \quad (4)$$

で定義する. ここで, 微分演算子 ∂_{i_k} は, 任意の添え字 $i_k \in \{0, 1, \dots, m-1\}$ に対し,

$$\partial_{i_k} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\partial}{\partial \xi_{i_k}}, \quad (5)$$

で定義されるものであり, $\Psi_R(\boldsymbol{\xi})$ はキウムラント母関数 (cumulant generating function)

$$\begin{aligned} \Psi_R(\boldsymbol{\xi}) &= \Psi_R(\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_{m-1}) \\ &\stackrel{\text{def}}{=} \log E \left[\exp \left\{ \sum_{k=0}^{m-1} \xi_k R_k \right\} \right] \end{aligned} \quad (6)$$

であるとする. 以下では, $\kappa_{i_1 i_2 \dots i_d}^R$ におけるすべての添え字 $i_1, i_2, \dots, i_d$ が同じとき, これを周辺キウムラント (marginal cumulant) と呼び, $i_1, i_2, \dots, i_d$ の中にただ 1 つでも異なるものがある場合, $\kappa_{i_1 i_2 \dots i_d}^R$ をクロスキウムラント (cross cumulant) と呼ぶ. クロスキウムラントは信号 $\mathbf{r}(t)$ の各成分が互いに独立な場合には, すべて 0 となる. また, モーメントやキウムラントはその定義より, 添え字どうしのいかなる置換に関しても不変である. 以下では表現の煩雑さを防ぐため, モーメントやキウムラントの添え字は左から昇順に並べて, 例えば κ_{ijkl} ($i \leq j \leq k \leq l$) などと表記することにする.

信号 $\mathbf{r}(t)$ の平均値の周りにおける 2 次モーメント (およびキウムラント) は $\mathbf{r}(t)$ の各成分の分散, あるいは共分散に相当する. すなわち, $\mathbf{r}(t)$ の分散共分散行列を $V_R \stackrel{\text{def}}{=} [v_{ij}^R]$ で表すと, $v_{ij}^R = \mu_{ij}^R$ と書くことができる. 一般に, 各成分が独立であればクロスキウムラントは 0 となるが, 2 次の場合においては, 信号 $\mathbf{r}(t)$ の各成分が無相関でありさえすれば, $v_{ij}^R = 0$ ($i \neq j$) が成り立つ. このように, 共分散が 0 であるような信号のことを, 以下では 2 次無相関な信号と呼ぶ.

今, 2 次元ベクトル値信号 $\mathbf{r}(t) = [r_0(t), r_1(t)]^T$ の分散共分散行列 V_R が単位行列 I で与えられると仮定すると, 4 次のモーメントおよびキウムラントの間には以下のような関係が成り立つことが

知られている [13]:

$$\begin{aligned} \kappa_{0000}^R &= \mu_{0000}^R - 3, & \kappa_{1111}^R &= \mu_{1111}^R - 3, \\ \kappa_{0001}^R &= \mu_{0001}^R, & \kappa_{0111}^R &= \mu_{0111}^R, \\ \kappa_{0011}^R &= \mu_{0011}^R - 1. \end{aligned} \quad (7)$$

3 バッチ処理型アルゴリズム

本節では, 高次のキウムラントに基づく ICA のためのバッチ処理型アルゴリズム, および本研究で取り扱うコントラスト関数とその性質について簡単に紹介する.

3.1 二段階アルゴリズム

本論文で扱う ICA 解法アルゴリズムは, 以下に記すような二段階からなるものである.

アルゴリズム: ($m = 2$ の場合)

第 1 段階 観測信号 $\mathbf{x}(t)$ の 2 次無相関化.

- (a) 観測信号 $\mathbf{x}(t)$ の標本分散共分散行列 V_X を求める.
- (b) 固有値分解ないしは Cholesky 分解などの方法により, $V_X = LL^T$ を満たす行列 L を 1 つ求め, $\mathbf{x}(t)$ を

$$\mathbf{y}(t) := L^{-1} \mathbf{x}(t) \quad (8)$$

と変換する. このとき, 信号 $\mathbf{y}(t)$ の 4 次の標本モーメントを求め, さらに式 (7) と同様の関係を用いて, 4 次の周辺及びクロスキウムラントを計算しておく.

第 2 段階 2 次無相関な信号 $\mathbf{y}(t)$ の回転.

- (a) 信号 $\mathbf{y}(t)$ を行列

$$U(\theta) \stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (9)$$

を用いて直交変換 (回転) した信号を $\mathbf{z}^\theta(t) \stackrel{\text{def}}{=} U(\theta) \mathbf{y}(t)$ とする. このような信号 $\mathbf{z}^\theta(t)$ の高次のキウムラントを用いて定義されるコントラスト関数 $F_Z(\theta)$ を最小にするような回転角 θ^* を求める.

- (b) 2 次無相関な信号 $\mathbf{y}(t)$ を式 (9) に従い角度 θ^* だけ回転して、出力信号 $\mathbf{z}^{\theta^*}(t)$ を得る。

3.2 アルゴリズムの正当性

ここでは、前節で述べたアルゴリズムの正当性について議論する [9, 10].

式 (1) より、観測信号 $\mathbf{x}(t)$ の分散共分散行列は

$$\begin{aligned} V_X &\stackrel{\text{def}}{=} E[(\mathbf{X} - E[\mathbf{X}])(\mathbf{X} - E[\mathbf{X}])^T] \\ &= E[W^{-1}(\mathbf{Z} - E[\mathbf{Z}])(W^{-1}(\mathbf{Z} - E[\mathbf{Z}]))^T] \\ &= W^{-1} E[(\mathbf{Z} - E[\mathbf{Z}])(\mathbf{Z} - E[\mathbf{Z}])^T] W^{-T} \\ &= W^{-1} V_Z W^{-T} \\ &= (W^{-1} \sqrt{V_Z}) (W^{-1} \sqrt{V_Z})^T \end{aligned} \quad (10)$$

と書ける。ここで、 $V_Z \stackrel{\text{def}}{=} \text{diag}[\sigma_0^2, \dots, \sigma_{m-1}^2]$ は各成分が独立な信号 $\mathbf{z}(t)$ の分散共分散行列であり、また $\sqrt{V_Z} \stackrel{\text{def}}{=} \text{diag}[\sigma_0, \dots, \sigma_{m-1}]$ であるとする。一方、 V_X は上のアルゴリズムの第 1 段階 (b) により $V_X = LL^T$ と分解されていることに注意する。ただし、このような行列 L は必ずしも一意に定まるとは限らない。一般に、行列 B が与えられたとき、 $AA^T = BB^T$ を満たすような任意の行列 A について、常に

$$A = BQ^T \quad (11)$$

を満たすような直交行列 Q が存在する。したがって、行列 L に対し、ある直交行列 Q_L が存在して

$$L = W^{-1} \sqrt{V_Z} Q_L^T \quad (12)$$

と表すことができる。このとき、この行列 L の逆行列 L^{-1} を用いて、式 (8) のように観測信号 $\mathbf{x}(t)$ を変換すると、

$$\begin{aligned} \mathbf{y}(t) &= L^{-1} \mathbf{x}(t) \\ &= Q_L \left(\sqrt{V_Z} \right)^{-1} W W^{-1} \mathbf{z}(t) \\ &= Q_L \left(\sqrt{V_Z} \right)^{-1} \mathbf{z}(t) \\ &= Q_L \mathbf{z}^*(t) \end{aligned} \quad (13)$$

と書ける。ここで $\mathbf{z}^*(t) \stackrel{\text{def}}{=} (\sqrt{V_Z})^{-1} \mathbf{z}(t)$ は、信号 $\mathbf{z}(t)$ をその分散共分散行列が単位行列 I となるように規格化した信号であり、仮定よりその成

分は互いに独立である。またこのとき、信号 $\mathbf{y}(t)$ の分散共分散行列 V_Y も I に等しく、 $\mathbf{y}(t)$ は 2 次無相関な信号であると言える。

以上より、アルゴリズムの第 1 段階において、観測信号 $\mathbf{x}(t)$ から 2 次無相関な信号 $\mathbf{y}(t)$ が得られることが検証された。また、式 (13) より、信号 $\mathbf{y}(t)$ から互いに独立な信号 $\mathbf{z}^*(t)$ を得るためには、あとは直交行列の自由度のみが残っており、 $\mathbf{y}(t)$ を直交変換することにより、互いに独立な信号成分を抽出できることがわかる。一般に 2 次元ベクトルの直交変換は、回転行列と反転行列の合成により表される。いま、信号の符号の反転を含む振幅の任意性を仮定すれば、この直交変換はただ 1 個の角度パラメータ θ による回転と見なして差し支えない。このため、アルゴリズムの第 2 段階では、コントラスト関数 $F_Z(\theta)$ を最小にするような回転角を求め、回転行列 (9) により、信号 $\mathbf{y}(t)$ を回転させればよい。

以上より、本アルゴリズムにより観測信号 $\mathbf{x}(t)$ を各成分が互いに独立な信号 $\mathbf{z}^{\theta^*}(t)$ に変換できることがわかる。ただし、得られた信号の振幅は、分散が 1 となるように制限されている点に注意が必要である。また、このアルゴリズムは、 $m \geq 3$ の場合にも容易に拡張が可能である。この点については文献 [4, 7, 9, 10, 15, 17] などに詳述されている。

3.3 コントラスト関数

本研究では、ICA のためのコントラスト関数として

$$F_Z(\theta) \stackrel{\text{def}}{=} \left(\kappa_{0001}^{Z^\theta} \right)^2 + 2 \left(\kappa_{0011}^{Z^\theta} \right)^2 + \left(\kappa_{0111}^{Z^\theta} \right)^2 \quad (14)$$

なるものを用いる。

この関数 $F_Z(\theta)$ は、常に正の値を取り、信号 $\mathbf{z}^\theta(t)$ の各成分が独立であるとき、最小値 0 をとる。さらに、この関数を最小とするような回転角は解析的に厳密に求めることが可能である [11, 12]. 式 (14) から明らかなように、このコントラスト関数は出力信号 $\mathbf{z}^\theta(t)$ に関する 4 次のクロスキュムラントをすべて用いたものとなっており、最適な回転角が厳密に求まるコントラスト関数の中でも比較的一般的なものであると言える。

少々複雑な計算を行なうことにより, 関数 (14) は, 1 個の回転角 θ のみの関数であることがわかる [11, 12]. さらに, パラメータとして信号 $\mathbf{y}(t)$ の 4 次キュムラントが与えられれば, 関数 (14) を最小とするような θ^* を厳密に求めることができる. この場合, 最適な回転角 θ^* は

$$\sin \phi = \frac{B_Y}{\sqrt{(A_Y)^2 + (B_Y)^2}}, \quad (15)$$

$$\cos \phi = \frac{A_Y}{\sqrt{(A_Y)^2 + (B_Y)^2}} \quad (16)$$

を満たすような角度 ϕ を用いて,

$$\theta^* = \frac{1}{4} \left(\frac{3\pi}{2} - \phi \right) \quad (17)$$

とすることにより 2π の区間で一意に求まる. ここで, A_Y, B_Y は信号 $\mathbf{y}(t)$ の 4 次キュムラントから求められる統計量で,

$$A_Y = 4(\kappa_{0000}^Y \kappa_{0001}^Y + \kappa_{0001}^Y \kappa_{0011}^Y - \kappa_{0011}^Y \kappa_{0111}^Y - \kappa_{0111}^Y \kappa_{1111}^Y), \quad (18)$$

$$B_Y = 2(\kappa_{0001}^Y + \kappa_{0111}^Y)^2 - (\kappa_{0000}^Y - \kappa_{0011}^Y)^2 - (\kappa_{0011}^Y - \kappa_{1111}^Y)^2 + 8(\kappa_{0011}^Y)^2 \quad (19)$$

であるとする.

文献 [9, 10] では, このようなコントラスト関数を用いたアルゴリズムが, 画像信号や変調波を線形に混合した観測信号のブラインド分離に有効であることが, 計算機シミュレーションによって示されている.

4 オンライン型アルゴリズム

本節では, 前節で紹介したバッチ処理型のアルゴリズムのオンライン化手法を提案する. ここで提案するオンライン型アルゴリズムにおいても, バッチ処理の場合と同様に, データは二段階の処理を経て出力されることとなる. 以下では, 第 1 段階と第 2 段階に分けて, それぞれで行なわれる処理について説明する.

4.1 第 1 段階

第 1 段階では, 観測信号 $\mathbf{x}(t)$ の各成分を 2 次無相関な信号 $\mathbf{y}(t)$ に変換する. 信号の変換はバツ

チ処理の場合と同様に, 行列 L^{-1} を用いて, 式 (8) に従って行なう. ここでは, 行列 L^{-1} をデータが入力されるごとに逐次更新するためのオンライン型アルゴリズムについて述べる.

第 1 段階で行なう処理は, 信号の各成分の分散共分散行列を対角化するものであり, いわゆる主成分分析を行なうことと同値であることはすでに述べた. そのため, このような処理を行なうためのオンライン型アルゴリズムとしては, さまざまな手法が知られている. ここでは, できるだけ処理を簡単にするため, 以下のような手法を用いることとする [5, 15, 17].

行列 L^{-1} の初期値を $L^{-1}(0)$ とし, 時刻 t において更新された行列を $L^{-1}(t)$ で表す. 各時刻 t における行列 $L^{-1}(t)$ の更新規則は

$$L^{-1}(t+1) := [I - \varepsilon_L(t) \{\mathbf{y}(t)\mathbf{y}(t)^T - I\}] L^{-1}(t) \quad (20)$$

により与えられる. ここで, I は単位行列であり, $\varepsilon_L(t) > 0$ は学習係数で, 行列の収束速度と精度を調整するための定数である. (時刻により変動させることがあるため, t の関数として表記する.) このアルゴリズムは, 平均が 0 で, 分散共分散行列がそれぞれ, V_Y, I で与えられるような 2 つの 2 次元正規分布 P_Y, P_I 間の Kullback-Leibler ダイバージェンス

$$D(P_Y || P_I) = \text{Tr}(V_Y) - \log \det(V_Y) - 2 \quad (21)$$

を勾配法により最小化するものである [5, 15, 17]. ここで, $\text{Tr}(V_Y), \det(V_Y)$ はそれぞれ, 行列 V_Y のトレースおよび行列式を表している. 一般に, 独立成分分析の問題は信号が正規分布に従うことを仮定しないが, このアルゴリズムにより, 信号 $\mathbf{y}(t)$ の分散共分散行列が時刻 t とともに単位行列に近づくことが期待される.

4.2 第 2 段階

第 2 段階においても, バッチ処理の場合と同様に, 2 次無相関化された信号 $\mathbf{y}(t)$ を回転行列 $U(\theta)$ を用いて, 各成分が独立な信号 $\mathbf{z}^\theta(t)$ に変換する.

時刻 t における信号 $\mathbf{y}(t)$ の平均値, および 4 次のキュムラントをそれぞれ $\bar{\mathbf{y}}(t) = [\bar{y}_0(t), \bar{y}_1(t)]^T, \kappa_{ijkl}^Y(t)$ ($i, j, k, l \in \{0, 1\}$) で表すこととする.

各時刻 t において、第 1 段階で 2 次無相関化された信号 $\mathbf{y}(t)$ が生成されたのち、その時刻 t における $\mathbf{y}(t)$ の平均値 $\bar{\mathbf{y}}(t)$ および 4 次キュムラント $\kappa_{ijkl}^Y(t)$ を

$$\bar{\mathbf{y}}(t+1) := \bar{\mathbf{y}}(t) + \Delta\bar{\mathbf{y}}(t) \quad (22)$$

$$\kappa_{ijkl}^Y(t+1) := \kappa_{ijkl}^Y(t) + \Delta\kappa_{ijkl}^Y(t) \quad (23)$$

なる規則で更新する．ここで、 $\Delta\bar{\mathbf{y}}(t)$ 、 $\Delta\kappa_{ijkl}^Y(t)$ は、それぞれ、

$$\Delta\bar{\mathbf{y}}(t) = -\varepsilon_Y(t) [\bar{\mathbf{y}}(t) - \mathbf{y}(t)], \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \Delta\kappa_{0000}^Y(t) &= -\varepsilon_0(t) \\ &\times \left[\kappa_{0000}^Y(t) - \{y_0(t) - \bar{y}_0(t)\}^4 + 3 \right], \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \Delta\kappa_{0001}^Y(t) &= -\varepsilon_1(t) \left[\kappa_{0001}^Y(t) \right. \\ &\left. - \{y_0(t) - \bar{y}_0(t)\}^3 \{y_1(t) - \bar{y}_1(t)\} \right], \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \Delta\kappa_{0011}^Y(t) &= -\varepsilon_2(t) \left[\kappa_{0011}^Y(t) - \right. \\ &\left. \{y_0(t) - \bar{y}_0(t)\}^2 \{y_1(t) - \bar{y}_1(t)\}^2 + 1 \right], \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \Delta\kappa_{0111}^Y(t) &= -\varepsilon_3(t) \left[\kappa_{0111}^Y(t) \right. \\ &\left. - \{y_0(t) - \bar{y}_0(t)\} \{y_1(t) - \bar{y}_1(t)\}^3 \right], \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \Delta\kappa_{1111}^Y(t) &= -\varepsilon_4(t) \\ &\times \left[\kappa_{1111}^Y(t) - \{y_1(t) - \bar{y}_1(t)\}^4 + 3 \right] \end{aligned} \quad (29)$$

で与えられる． $\varepsilon_Y(t)$ 、 $\varepsilon_k(t)$ ($k = 1, 2, 3, 4$) はいずれも正の定数で、第 1 段階の式 (20) における $\varepsilon_L(t)$ と同様の学習係数である．以上の更新式の導出については、付録を参照されたい．

このようにして、時刻 t における 4 次のキュムラントの推定量 $\kappa_{ijkl}^Y(t)$ が得られた後、バッチ処理の場合の式 (15) ～ (19) と同様にして、この時刻 t における最適な回転角 $\theta^*(t)$ を導出する．その後、回転行列

$$U(\theta^*(t)) \stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} \cos \theta^*(t) & -\sin \theta^*(t) \\ \sin \theta^*(t) & \cos \theta^*(t) \end{bmatrix} \quad (30)$$

を用いて、信号 $\mathbf{y}(t)$ を

$$\mathbf{z}^{\theta^*}(t) \stackrel{\text{def}}{=} U(\theta^*(t))\mathbf{y}(t) \quad (31)$$

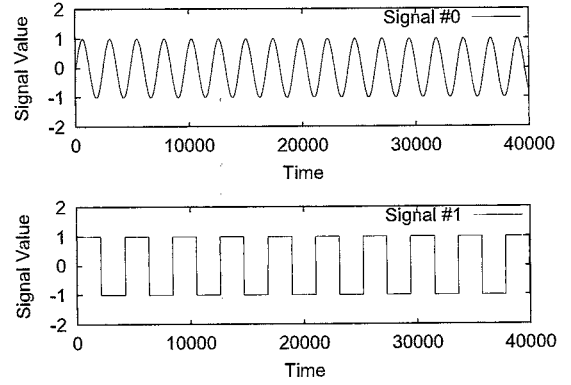


図 1: 原信号

と変換して、出力信号 $\mathbf{z}^{\theta^*}(t)$ を得る．

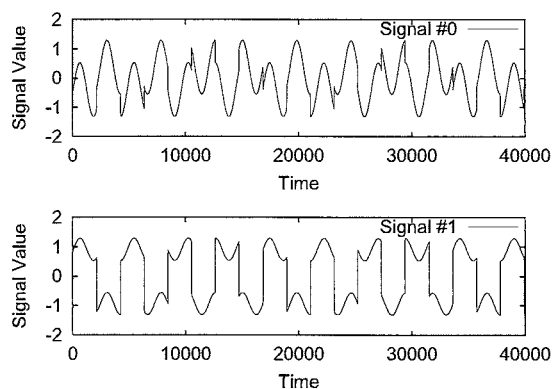
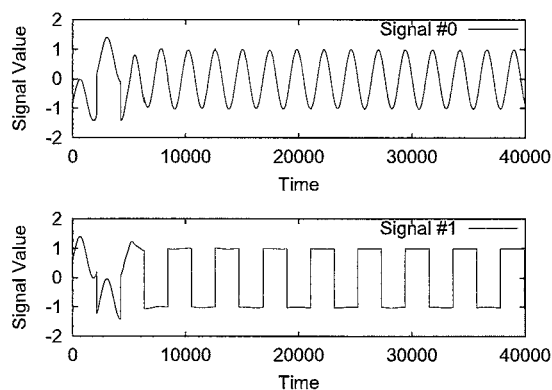
各時刻 t において入力信号 $\mathbf{x}(t)$ のデータが 1 個入力される毎に、以上のような第 1 段階、第 2 段階の処理を施して、信号 $\mathbf{z}^{\theta^*}(t)$ が 1 個出力される．処理には高々 2 次の行列演算および、スカラー値の四則演算や高々 4 乗の計算しか含まないため、出力信号を得るまでに要する時間は大きな問題とはならず、入力信号 $\mathbf{x}(t)$ が与えられれば、ほぼリアルタイムに信号 $\mathbf{z}^{\theta^*}(t)$ を出力することが可能である．このアルゴリズムでは、 t が小さいうちは統計量の推定に必要なデータ数が不足しているため精度が低い、 t の増加とともに、互いにほぼ独立となる出力信号が抽出されるようになることが期待される．

5 数値実験

本節では、前節で提案したオンライン型の ICA 解法アルゴリズムの性能を検証するために、簡単な数値実験を行なう．

観測信号としては図 1 に示したような正弦波と矩形波からなる 2 次元ベクトル値信号に対し、式 (9) のような行列で回転を施したものをを用いた．このように構成された観測信号 $\mathbf{x}(t)$ を図 2 に示す．図 1 の 2 つの信号が確率的な意味で厳密に独立である保証はないが、これらをほぼ独立と考えて、出力信号として、図 1 に近いものが得られるかどうかを調べた．

結果を図 3 に示す．図からわかるように、時刻 t が小さい領域では、出力信号の値が大きく変動

図 2: 観測信号 $x(t)$ 図 3: 出力信号 $z^{\theta^*}(t)$

し, 不安定な振る舞いを見せている部分もあるが, t の増加とともに図 1 に示した原信号に近い信号が得られていることがわかる。

6 まとめ

本論文では, 独立成分分析 (ICA) のためのコントラスト関数として, 4 次クロススキュムラントの 2 乗和を用いた場合のオンライン型アルゴリズムを提案した。また, 簡単な数値実験を通してその性能の検証を行なった。ただし, 今回実験を行なった観測信号は, 2 つの原信号に回転を施しただけの簡単なもので, 事実上は第 1 段階の処理を行なわなくてもよい場合の例となっている。今後は, さらに多様な信号について, 提案法による信号抽出精度を検証する必要がある。

参考文献

- [1] S. Amari, “Blind Source Separation — Mathematical Foundations,” in *Brain-Like Computing and Intelligent Information Systems*, ed. S. Amari and N. Kasabov, pp.153–166, Springer-Verlag, Singapore, 1998.
- [2] S. Amari and J.F. Cardoso, “Blind Source Separation—Semiparametric Statistical Approach,” *IEEE Trans. Signal Processing*, vol.45, no.11, pp.2692–2700, Nov. 1997.
- [3] S. Amari, T.P. Chen and A. Cichocki, “Stability Analysis of Learning Algorithms for Blind Source Separation,” *Neural Networks*, vol. 10, no. 8, pp.1345–1351, Nov. 1997.
- [4] J.F. Cardoso, “High-Order Contrasts for Independent Component Analysis,” *Neural Computation*, vol.11, no.1, pp.157–192, Jan. 1999.
- [5] J.F. Cardoso and B. Laheld, “Equivariant Adaptive Source Separation,” *IEEE Trans. Signal Processing*, vol.44, no.12, pp.3017–3030, Dec. 1996.
- [6] J.F. Cardoso and A. Souloumiac, “Blind Beamforming for Non - Gaussian Signals,” *IEE Proc. F*, vol.140, no.6, pp.362–370, Dec. 1993.
- [7] P. Comon, “Independent Component Analysis, A New Concept?,” *Signal Processing*, vol.36, pp. 287–314, 1994.
- [8] F. Harroy and J. L. Lacoume, “Maximum Likelihood Estimators and Cramer - Rao Bounds in Source Separation,” *Signal Processing*, vol. 55, pp. 167–177, 1996.
- [9] T. Kojima, K. Nagano and T.S. Han, “An Algebraic Approach to Blind Source Separation,” 第 21 回情報理論とその応用シンポジウム (SITA'98) 予稿集, vol.2, pp.791–794, Dec. 1998.

- [10] T. Kojima, K. Nagano and T. S. Han, "An Algebraic Off - Line Algorithm for Blind Source Separation," 信学技報, NLP98-104, Feb. 1999.
- [11] T. Kojima, "On the Contrast Functions for Independent Component Analysis Based on the Higher-Order Statistics," 第 24 回情報理論とその応用シンポジウム (SITA2001) 予稿集, vol.2, pp.525-528, Dec. 2001.
- [12] 小嶋徹也, 青野正宏, "高次統計量を用いた独立成分分析の厳密解に関する一考察," 東京工業高等専門学校 研究報告書, vol.34, no.1, pp.65-72, Oct. 2002.
- [13] A. Stuart and K. Ord, *Kendall's Advanced Theory of Statistics (6th ed.)*, vol.1, Edward Arnold, London, 1994.
- [14] H.H. Yang and S. Amari, "Adaptive Online Learning Algorithms for Blind Separation : Maximum Entropy and Minimum Mutual Information," *Neural Computation*, vol.9, no.7, pp.1457-1482, Oct. 1997.
- [15] V. Zarzoso and A. K. Nandi, "Source Distribution Independent Adaptive Blind Signal Separation," *Proc. of 1st Intl. Workshop on Independent Component Analysis and Signal Separation (ICA '99)*, pp.65-70, Jan. 1999.
- [16] V. Zarzoso and A. K. Nandi, "Blind Separation of Independent Sources for Virtually Any Source Probability Density Function," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 47, no. 9, pp. 2419-2432, Sep.1999.
- [17] V. Zarzoso and A. K. Nandi, "Blind Source Separation," in *Blind Estimation Using Higher-Order Statistics*, ed. by A. K. Nandi, pp. 167 - 252, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1999.

付 録

第 2 段階のオンライン化の根拠

本付録では, オンライン型アルゴリズムにおける第 2 段階で用いた信号 $y(t)$ の平均や 4 次キウムラントの更新式を導出した根拠について述べる. このアルゴリズムは勾配法を用いて各統計量を計算するものとなっている. 以下では, 4 次のキウムラント $\kappa_{0000}^Y(t)$ の更新量 $\Delta\kappa_{0000}^Y(t)$ の導出についてのみ述べる. 導出法は, 他のパラメータ $\Delta\bar{y}(t)$, $\Delta\kappa_{ijkl}^Y(t)$ についても同様である.

2 次無相関化後の信号, すなわち, 分散共分散行列が単位行列 I であるような信号 $y(t)$ の 4 次キウムラント κ_{0000}^Y は

$$\begin{aligned}\kappa_{0000}^Y &= \mu_{0000}^Y - 3 \\ &= E[(y_0 - \bar{y}_0)^4] - 3\end{aligned}\quad (32)$$

と書ける. しかし, 実際の処理においては, このような関係が常に保証されるわけではないため, κ_{0000}^Y に関する目的関数

$$f(\kappa_{0000}^Y) = (\kappa_{0000}^Y - E[(y_0 - \bar{y}_0)^4] + 3)^2 \quad (33)$$

を考える. この関数は, 常に正の値をとり, キウムラント κ_{0000}^Y と $E[(y_0 - \bar{y}_0)^4] - 3$ が一致したときのみ最小値 0 をとる.

いま, $f(\kappa_{0000}^Y)$ を最小, すなわち 0 にするように, 勾配法で κ_{0000}^Y の更新を繰り返すことを考える. $f(\kappa_{0000}^Y)$ の κ_{0000}^Y に関する勾配は,

$$\begin{aligned}\frac{\partial f(\kappa_{0000}^Y)}{\partial \kappa_{0000}^Y} &= 2(\kappa_{0000}^Y - E[(y_0 - \bar{y}_0)^4] + 3)\end{aligned}\quad (34)$$

である. ここで, 簡単のため, 右辺の期待値オペレータ $E[\cdot]$ の部分は平均値ではなく, 瞬時値をそのまま用いることにすると, 時刻 t における $\kappa_{0000}^Y(t)$ の勾配法に基づく修正量 $\Delta\kappa_{0000}^Y(t)$ は,

$$\begin{aligned}\Delta\kappa_{0000}^Y(t) &= -\varepsilon'_0(t) \frac{\partial f(\kappa_{0000}^Y)}{\partial \kappa_{0000}^Y} \\ &= -2\varepsilon'_0(t) [\kappa_{0000}^Y - \{y_0(t) - \bar{y}_0(t)\}^4 + 3] \\ &= -\varepsilon_0(t) [\kappa_{0000}^4 - \{y_0(t) - \bar{y}_0(t)\}^4 + 3]\end{aligned}\quad (35)$$

と書ける. ここで, $\varepsilon_0 = 2\varepsilon'_0$ とした.

(平成 16 年 9 月 30 日 受理)

生態毒性試験を用いた廃棄物 有害性評価における浸透圧影響

庄司 良*, 古儀さやか**, 小野芳朗***

Countermeasure of Osmorality Effect to Evaluate the Ecotoxicological Risk of
Municipal Waste by Using *Daphnia* sp. Immobilization and Algal Growth Inhibition Tests

Ryo SHOJI, Sayaka KOGI, Yoshiro ONO

Recently, waste incineration ash is hazardous for living organisms because of its minute particle size and the presence of potentially toxic elements. In this study, the various ecotoxicological tests were applied to evaluate the ecological risk of potential eluate prepared by leaching test of some waste incineration ash samples. Algal growth inhibition and *Daphnia* sp. acute immobilization tests, which are performed by *Pseudokirchneriella subcapitata* and *Daphnia magna* respectively, were useful within the concentration of eluate sample having no osmolarity effect on both organisms. *Phaeodactylum tricornutum* is enable us to performed Algal growth inhibition test for high osmolarity sample.

(Keywords : Waste incineration ash, Algal growth inhibition test, *Daphnia* sp. acute immobilization test)

1. はじめに

近年、廃棄物焼却灰の処理法のひとつとして、埋め立て処理が盛んに行われている。その一方では、廃棄物焼却灰を埋め立てることによる問題が指摘されている。その問題とは、降雨などにより、埋め立てた廃棄物焼却灰から有害な化学物質などが河川や地下水に溶け出し、その周辺で生息している生態へ影響を及ぼすことである。¹⁾この問題に対し、廃棄物焼却灰の埋め立ての是非を判定するための溶出試験は機器分析による特定の物質に対しての濃度規制を行っているだけである。この方法では、実際に河川で生息する生態系にどのような影響があるのかが重視されず、生態系保全のための規正法としては不十分と考えられる。

そこで、実際に河川で生息する生物を使った生態毒性試験を用い、生態への影響を見ることが提唱されている。²⁾この生態毒性試験には、OECD テストガイドライン (OECD-TG) で定められた試験を行うことが多い。OECD-TG にある河川で生息する生物を使った生態毒性試験として使われているのが藻類生長阻害試験 (TG201)、甲殻類急性遊泳阻害試験 (TG202)、魚類急性毒性試験 (TG 203) の3つの試験である。また、この OECD-TG に従った生態毒性試験では測定妨害がいくつかあり、これらの測定妨害因子を取り除く必要がある。³⁾

その測定妨害因子のひとつに高い浸透圧による阻害がある。試料の高い浸透圧により試験生物の生長が阻害されるため浸透圧による

表 1 焼却灰溶出試料の焼却物、pH、EC、浸透圧

試料名	焼却物	pH	EC	浸透圧
			[mS/cm]	[mOsm/kg]
03-A	木材チップ	12.39	0.106	306
03-B	下水汚泥	11.70	0.119	28
03-C	都市廃棄物	12.62	0.200	813
03-D	一般廃棄物中プラスチック RDF	8.63	0.400	400
04-A	木材チップ	6.34	1.250	275
04-B	一般廃棄物 RDF	12.64	2.000	507
04-C	木材パレット破砕	12.00	1.730	117
04-D	廃プラスチック RDF	11.81	2.800	250

毒性が強く出てしまい、試料に含まれる有害化学物質による毒性を見ることができない。溶出試料の高い浸透圧は処分場下流に本溶出水が流出した場合、深刻な生態影響を及ぼし得るため、高い浸透圧は一種の生態毒性因子とみなすことも出来るが、結果として含まれる有害化学物質の生態毒性評価には測定妨害となる。この問題に対し、現在は浸透圧の補正を行い毒性の算出をしている。しかし、高い浸透圧では成長率が 0 になる。そのため、有害化学物質による毒性も浸透圧によるものと判断され、浸透圧の補正を行っても試験の結果算出された毒性がすべて、浸透圧によるものと判断される。このため、試料に含まれる有害化学物質による毒性を見るためには単純な足し算による浸透圧の補正は適していない。

そこで本研究では、実際に埋め立て処理がなされる廃棄物焼却灰について溶出試験を行い、その溶出液について藻類生長阻害試験および甲殻類遊泳阻害試験を OECD-TG に準拠して行い、特定物質のみだけではなく実際に

生物を用いた焼却灰溶出試料の規正法の必要性を述べることを目的とした。また、浸透圧の影響をほぼ受けないと思われる海水性藻類を用いた藻類生長阻害試験を行い、浸透圧による影響を受けない生態毒性試験の可能性を検討した。

2. 実験方法

表 1 に示した実際に埋め立てに使用される 8 種類の廃棄物焼却灰（03-A, B, C, D、04-A, B, C, D）試料について次のような手順で溶出試験を行った。蒸留水を溶媒とし、L/S 比を 10 に設定して 6 時間平行振とうを行う。振とう後、30 分静置し、その後 3000rpm で 20 分間遠心分離した後の上澄み液を孔径 $0.45\mu\text{m}$ のメンブランフィルターで濾過した結果、得られた溶液を試料とした。（環境庁告示第 46 号試験）試料はまず pH、電気伝導度（EC）、浸透圧を測定した。また、環境庁告示第 46 号試験を用いたのは土壤汚染の評価基準として使用されているためである。

甲殻類急性遊泳阻害試験は、OECD-TG202

甲殻類急性遊泳阻害試験および繁殖試験に準拠し、生物種には *Daphnia magna* (*D.m.*) を用いた。*D.m.*は事前に M4 培地にて飼育し、生後 24 時間未満の個体を使用した。飼育条件は温度 20℃で 12 時間暗、12 時間明の断続照明とした。試験は飼育条件と同様にして行った。焼却灰溶出試料を 48 時間曝露した際の遊泳数および生存数を計数した。この結果を元に 50%遊泳阻害濃度 (EC_{50}) と 50%生存阻害濃度 (LC_{50}) を算出した。

藻類生長阻害試験は、OECD-TG201 藻類生長阻害試験に準拠し、生物種には *Pseudokirchneriella subcapitata* (*P.s.*)を用いた。*P.s.*は事前に AAP 培地にて培養し、増殖期にまで成長したものを使用した。培養条件は温度 20℃で連続振とう、連続的な均一照射とした。試験は培養条件と同様にして行った。

焼却灰溶出試料を 72 時間 (3 日間) 曝露した際の藻体数を 655nm の吸光度で測定した。この結果を元に 50%生長阻害濃度 (EC_{50}) を算出した。

浸透圧対策としては、海水が約 1000mOsm/kg と高い浸透圧値であることに注目し、海水に生息している藻類は高い浸透圧に強いと考えた。そのため、浸透圧に強い藻類として海水で生息している藻類を使用することにした。本研究では海水性藻類である珪藻 *Phaeodactylum tricornutum* (*P.t.*)を使用した。*P.t.*は事前に人工海水の組成を模した培地にて培養し、増殖期にまで成長したものを使用した。培養条件は温度 20℃で連続振とう、連続的な均一照射とした。⁴⁾試験を行う際に、試料濃度にあわせて浸透圧値が

1000mOsm/kg になるように培地内の NaCl の量を調整した。調整液には 5MNaCl を用いた。試験は培養条件と同様にして行った。

焼却灰溶出試料を 240 時間 (10 日間) 曝露した際の藻体数を 750nm の吸光度で測定した。⁵⁾この結果を元に 50%生長阻害濃度 (EC_{50}) を算出した。

3. 実験結果と考察

図 1 に試料 03-A, B, C, D, 04-A, B, C, D の甲殻類遊泳阻害試験の結果を示した。8 種の試料すべてにおいて阻害が見られた。このとき、焼却灰試料 04-A, 04-B, 04-C, 04-D, 03-B, 03-C, 03-A, 03-D の順で毒性は強くなっていた。

図 2 に試料 03-A, B, C, D, 04-A, B, C, D の *P.s.*を用いた藻類生長阻害試験の結果を示した。試料 03-C, D の試料濃度 10~50%で藻類生長阻害が確認された。同様に、試料 04-A の 1~50%でも藻類の生長阻害が確認された。

また、試料 03-A, B および D の低濃度領域 1~10%、試料 04-B, C の試料濃度 10~50%、試料 04-D の試料濃度 25~50%では藻類の増殖がコントロールを上回った。これは焼却灰溶出試料内に含まれている栄養塩によるものと考えられ、藻類生長阻害試験による生態毒性試験に際してはこのような過増殖も測定妨害と考えることができる。過増殖は培地の濃度を濃くして、コントロールの栄養価をあげることで対処できるのではないと思われる。

図 3 に試料 03-A, B, C, D, 04-A, B, C, D の *P.t.*を用いた藻類生長阻害試験の結果を示した。また同時に比較対照として、*P.s.*での藻

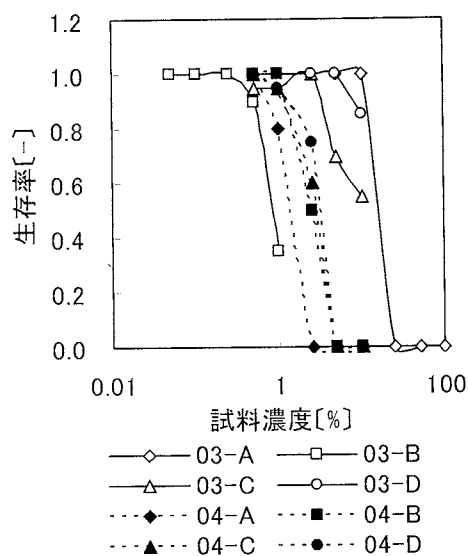


図1 焼却灰溶出試料のD.m.における
甲殻類遊泳阻害試験による用量作用
曲線

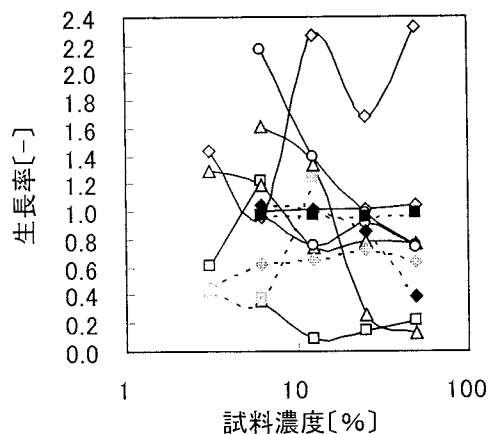


図3 焼却灰溶出試料のP.t.における
藻類生長阻害試験による用量作用曲
線

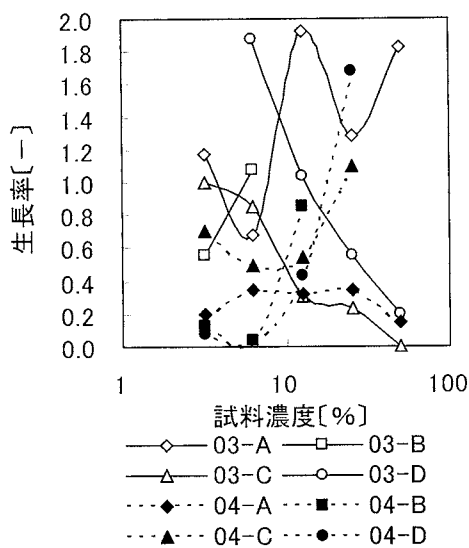


図2 焼却灰試料のP.s.における藻類
生長阻害試験による用量作用曲線

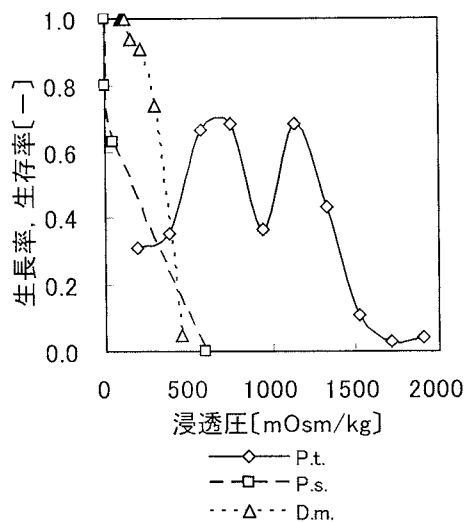


図4 NaCl標準溶液を用いた浸透圧の
P.s.とP.t.とD.m.との生長と生存に対
する用量作用曲線

類生長阻害試験の結果を元に浸透圧による影響を考慮し、補正を行った結果も示す。浸透圧を補正した結果では試料濃度 10%以上で相対増殖率が0.8を下回らなくなった。今回、浸透圧の補正法として浸透圧により阻害されたと考えられる生長率分を藻類生長阻害試験

結果に加える方法をとっている。

そのため浸透圧の補正を行った結果では、試料濃度が濃くなるにつれ浸透圧に阻害される量も増えることにより、成長率が一定値を下回らなくなる。よって、試料中の有害化学物質による藻類への生長阻害を予測することが

表2 焼却灰溶出試料の重金属分析値

元素	ICP-MS							
	溶出濃度[mg/L]							
	03-A	03-B	03-C	03-D	04-A	04-B	04-C	04-D
Ca	55.1	—	4766	3219	862	3933	979	4553
Al	6.81	—	ND	1.48	79.8	1.89	0.24	0.103
Mg	ND	—	0.036	0.035	0.06	0.032	ND	ND
Fe	ND	—	6.82	8.86	ND	ND	ND	ND
Sr	1.11	—	ND	0.007	6.5	3.75	4.82	12.6
Cu	ND	—	0.283	0.127	ND	26.8	0.16	1.36
Mn	ND	—	ND	ND	ND	ND	ND	0.033
Si	23.7	—	ND	0.593	0.22	0.062	0.611	ND
B	7.06	—	0.009	ND	ND	ND	ND	0.215
Sn	ND	—	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ni	ND	—	ND	0.024	ND	ND	ND	ND
Co	ND	—	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cd	ND	—	ND	ND	ND	0.014	ND	ND
Pb	0.423	—	129	1.34	0.1	26.7	0.617	11.3
Zn	0.051	—	4.00	0.030	0.06	9.26	0.175	ND
Cr	1.09	—	ND	0.089	4.28	2.53	0.168	1.47
K	3485	—	3978	3308	2789	2053	504	2084
Na	145	—	2938	349	1049	1403	431	934

ND: 定量下限値以下

できなくなった。しかし、*P.t.*では *P.s.*での藻類生長阻害試験の結果、相対増殖率が0であった試料 C でも同じ濃度（試料濃度 50%）で生長していた。

図 4 に NaCl 標準溶液を用いた浸透圧の *D.m.*の生存及び *P.s.*と *P.t.*の生長に対する影響を示した。*P.s.*では 50mOsm/kg 以上の浸透圧値では藻類の生長が阻害されることがわか浸透圧の影響をほとんど受けないと考えられる。また、*D.m.*では今回使用した試料の

った。表 1 より、試料 03-B 以外の阻害は浸透圧によるものとも考えることができる。しかし、浸透圧の影響を無視できる程度まで希釈した濃度範囲でも藻類生長阻害が認められたことから、浸透圧以外の別因子による阻害が起きていると考えられる。*P.t.*では、*P.s.*と比較して高い浸透圧状況下で生長することがわかる。このため、浸透圧値が高い試料にも 10~100 倍希釈した試料の浸透圧による影響は無視できる範囲内であると判断できる。よ

って今回確認できた毒性の原因は、試料溶液に含まれる有害化学物質であるといえる。

表 2 に各焼却灰溶出試料中の金属溶出濃度を示した。この結果から、試料 03-C では鉛の溶出濃度が高く、この鉛の影響で毒性が出ていると考えられる。よって、試料 03-C で得た阻害結果は鉛による阻害であると判断できる。しかし、試料 03-C 以外では焼却灰溶出試料中に溶け出した金属の溶出濃度は規制内であると判断できる。

表 3 に藻類生長阻害試験と甲殻類遊泳阻害試験の実験結果を元に算出した EC_{50} 値および LC_{50} 値を示した。藻類生長阻害試験においての EC_{50} 値は全体の半分の藻体に生長阻害が認められた濃度を示し、甲殻類遊泳阻害試験においての EC_{50} 値は全体の半分の個体に遊泳阻害が認められた濃度、 LC_{50} 値は全体の半分の個体に死亡が認められた濃度を示している。

甲殻類遊泳阻害試験の結果では、 EC_{50} 値が試験の結果から算出した EC_{50} 値は、 $P.s.$ を用いた藻類生長阻害試験の結果から算出した

10%未満という低い値である試料が多かった。特に試料 04-A, B, C, D では 0.1%未満というとても低い値であった。このことから、今回使用した試料の中でも特に試料 04-A, B, C, D は甲殻類に対する影響が無視できないと考えられる。

藻類生長阻害試験の結果では試料 03-A, B, 04-B, C で過増殖が認められたため生長率が 50%をきることがなく、 EC_{50} 値を算出することはできなかった。また試料 04-A では阻害が強く出たため生長率が 50%を上回ることがなく、 EC_{50} 値を算出することができなかった。また、 EC_{50} 値を算出することができた試料 03-C では 10%未満という EC_{50} 値が低い値で算出されたが、Table 1 を見ると浸透圧の値が異常なまでに高く、ほぼ海水と同じ浸透圧値であった。高い浸透圧値を考慮して浸透圧を補正した結果の EC_{50} 値も、生長率が 50%を切ることがなかったため算出することはできなかった。一方、 $P.t.$ を用いた藻類生長阻害試験 EC_{50} 値よりも大きくなった。これは、浸透圧による毒性の影響がないためと考えられる。

表 3 焼却灰溶出試料の藻類生長阻害試験および甲殻類遊泳阻害試験による EC_{50} 値と LC_{50} 値

試料名	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	<i>Daphnia magna</i>	
	EC_{50} [%]	浸透圧補正 EC_{50} [%]	EC_{50} [%]	EC_{50} [%]	LC_{50} [%]
03-A	過増殖	過増殖	>100	9.47	16.2
03-B	過増殖	過増殖	<6.25	0.700	0.920
03-C	9.4	>50.0	20.6	0.850	1.80
03-D	27.9	>50.0	>50.0	7.30	30.4
04-A	<3.13	3.7	44.5	0.0101	0.0124
04-B	過増殖	過増殖	>100	0.00659	0.0248
04-C	過増殖	過増殖	試験未実施	0.0139	0.0253
04-D	過増殖	過増殖	試験未実施	0.0170	0.0283

すなわち浸透圧に弱い *P.s.* では浸透圧に対する考察をしない場合、生態影響を大きく見積もってしまうことがわかる。

4. 結論

今回行った実験の結果より、現在の埋め立ての是非判定である機器分析による特定物質のみの規制では生態系に対する影響を見ることができないことがわかった。生態系への影響を見るためには、実際に生物を用いた試験を行うことによる焼却灰溶出試料の規制法が必要であるといえる。

また、藻類生長阻害試験で使用する *P.s.* では浸透圧による阻害影響は大きく、試料に含まれる有害化学物質のみの毒性を見たい場合にはこの高い浸透圧は測定妨害となった。そこで使用した高い浸透圧に強い海水性藻類 *P.t.* で藻類生長阻害試験を行った結果、高い浸透圧による影響は受けず、試料に含まれる有害化学物質による毒性の影響を見ることができた。

5. 謝辞

本研究は平成 15 年度文部科学省リーディングプロジェクト「一般・産業廃棄物・バイオマスの複合処理・再資源化」の支援を頂き、行った。ここに記して、謝意を表する。

参考文献

1) 酒井伸一・水谷 聡・高月 紘 (1996) 溶出試験の基本的考え方. 廃棄物学会誌, 7, 383-393

2) 庄司 良・中山秀謹・Nguyen Phuong Anh Thi・毛利紫乃・山田正人・工藤宏紀・酒井康行・迫田章義 (2003) 廃棄物中の有機物の溶出試験とバイオアッセイによる有害性評価. 環境科学会誌, 16, 475-484

3) 長島 寛・藤原朋広・国本 学・(2001) バイオアッセイによる排水試料の有害性評価に伴う問題点の解析. 水環境学会誌, 24, 110-114

4) Oya S.Okay・Alec Gaines (1996) Toxicity of 2,4-D acid to phytoplankton. *Wat.Res.*, 30, 688-696

5) Daniel Schmitt・Andreas Müller・Zsuzsa Csögör・Fritz H. Frimmel・Clemens Posten (2001) The adsorption kinetics of metal ions onto different microalgae and siliceous earth. *Wat.Res.*, 35, 779-785

(平成 16 年 9 月 28 日 受理)

東京工業高等専門学校研究報告書

第 36 (2) 号

平成16年度

平成17年 1 月11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.

