

東京工業高等専門学校

研 究 報 告 書

第 37(1) 号

2005.9

東京工業高等専門学校研究報告書 第37(1)号 目次

ジェイクと「掟」(其の2)	岩崎 健.....	1
臨床英語教育人間学序説(1)	相澤 俊行.....	13
—問題の所在あるいは本質論および目的論を中心に—		
環境リスク管理論とその価値前提	川北 晃司.....	21
—技術者倫理教育を展望して—		
Siを用いて試作した温度センサーの熱処理による影響	柚賀 正光.....	31
制御工学導入のための直感的モータ制御実験装置	小坂 敏文.....	37
	吉本 定伸	
	西村 亮	
	松林 勝志	
内部サイバーテロまたは致命的バグからシステムを保全する	青野 正宏.....	41
クリティカルリアルタイムシステム	小嶋 徹也	

Research Reports of Tokyo National College of Technology No. 37 (1)

CONTENTS

Tatsuru IWASAKI	Jake and “a Code” (Part Two)	1
Toshiyuki AIZAWA	Clinical English Language Pedagogy as Human Science (1) —Focusing on the Fundamental Issues of English Language Pedagogy—	13
Koji KAWAKITA	Environmental Risk Managements and Their Value Assumptions —With the Prospects for Education of Engineering Ethics—	21
Masamitsu YUGA	Influence of heat treatment on thermo-sensor with the Si built as trial	31
Toshifumi KOSAKA Sadanobu YOSHIMOTO Makoto NISHIMURA Katsushi MATSUBAYASHI	Intuitive motor-control experimental equipment for control engineering introduction	37
Masahiro AONO Tetsuya KOJIMA	Real Time Critical Fault Tolerance System against Internal Cyber Terrorism or Fatal Bug	41

ジェイクと「掟」(其の2)

岩 崎 健*

Jake and “a Code” (Part Two)

Tatsuru IWASAKI

I'm sure that I could catch sight of Jake who might act as a codehero in chapter 3. But to my disappointment, I have lost sight of Jake as a codehero since chapter 3. Why can't I find him? Isn't Jake a codehero? Or have I made a mistake in my conception of a codehero? Anyway I haven't found Jake as a codehero. But I believe Philip Young's words: “Jake and the few people he likes have a code”.

So I will continue to look for Jake who acts as a codehero.

(Keyword: codehero)

「コードヒーロー」としてのジェイクの姿を追いかけているのだが、第3章でにやけた若者たちに対して見せたふるまい、そして売春婦に対して取った態度以来、ジェイクの「コードヒーロー」としての姿はさっぱり見えてこない。これはどうしたことなのだろうか。ジェイクは「コードヒーロー」などではないのだろうか。それとも私の「コードヒーロー」の認識に誤りがあったのだろうか。つまり、ジェイクは「コードヒーロー」としての姿を現しているのに、私がそれに気づいていないのだろうか。しかし今は、何はともあれ、「ジェイクと、彼が好む2、3人の人々にはコードがある」(“Jake and the few people he likes have a code”)¹⁾というフィリップ・ヤングの言葉を信じ、その後のジェイクの行動を注意深く観察していくことにする。

その後のジェイクの行動の中で、彼が最も緊迫した姿を見せるのは、彼が恋人ブレットとロメロの間に立たされた時である。人は緊迫した場面に遭遇した時こそ、その正体を曝け出してしまうものである。従って、もしジェイクが「コードヒーロー」であるとしたら、このような緊迫した場面に於てこそその姿の一端を見せるはずである。そこで、この場面をじっくり見てみることにする。

休暇でパンプローナへ闘牛見物に出かけたジェイクは、その地に行った時には必ず宿泊するモン

トーヤの宿へ行く。ジェイクはそこで、宿の主モントーヤからロメロという若者を紹介される。彼は若手の有望な闘牛士で、今や闘牛界のプリンス的存在である。現にジェイクもそれまでに2回ほどロメロの闘牛を見、強い印象を受けていた。

モントーヤがジェイクをロメロに紹介したのは、ジェイクが自分と一脈相通ずるものがあると思なしたからであろう。つまりモントーヤは自分をアフイチオナード(“aficionado”) (131)²⁾と自認しているのだが、「アフイチオナード」というのは「闘牛に情熱を持っている人」(“An aficionado is one who is passionate about the bull-fights”) のことで、モントーヤはジェイクもまさに「アフイチオナード」であると見なしているらしい。正しく「類は友を呼ぶ」といったふうなのであろう。ロメロに紹介されたジェイクは、改めてロメロの立ち居振る舞いに魅せられる。

Pedro Romero nodded, seeming very far away and dignified when we shook hands. ... Romero listened very seriously. ... He was standing, straight and handsome and altogether by himself, alone in the room with the hangers-on as we shut the door. (163)

ペドロ・ロメロはうなずいた。私たちと握手をしたとき、彼は極めて遠い存在で、威厳ある

ように思われた。……ロメロは真剣に耳を傾けていた。……私たちがドアを閉めたとき、彼は真っ直ぐ堂々と全く一人で立っていた。部屋の中には、彼の他には、彼の取り巻きだけがいた。

どうやらモントーヤは本物の闘牛士を、本物の闘牛愛好家に引き合わせたかったようである。本物は本物に対して良い相乗効果を持つ。このことはこの世の全てのことに對して真実である。立派な闘牛士になるためには立派な闘牛愛好家が必要だし、立派な闘牛愛好家になるためには立派な闘牛士が不可欠である。お互いはお互いを鑑とすることによって成長する。モントーヤがジェイクをロメロに紹介した背後には、こんな意図が込められていたのではないだろうか。

逆に言うなら、このことはモントーヤがいかにジェイクの人間性を信じているかの証拠でもある。こんなところにもジェイクの「コードヒーロー」としての片鱗が垣間見られるように思われる。モントーヤがいかにジェイクに信頼を置いているかは、次のエピソードが如実に示してくれる。

闘牛の祝祭は7日間続く。中日の4日目を過ぎた頃、突然モントーヤがジェイクの部屋にやってくる。そして切り出す。「グランドホテルから、ペドロ・ロメロとマルチアル・ラランダを今晚の夕食後のコーヒーによこしてほしい、という伝言を受けているのですけれど」(“I’ve just had a message from them at the Grand Hotel that they want Pedro Romero and Marcial Lalanda to come over for coffee to-night after dinner”) (171)。モントーヤがこのようなことを言ったのは「そんなこと、とんでもないことです。ロメロの為に良くありません」という言葉を、信頼するジェイクの口から聞いたかったからである。勿論ジェイクにはモントーヤのこのような意図がすぐに読み取れる。そこでジェイクは言う。「ロメロにはその伝言を伝えないことですね」(“Don’t give Romero the message”) (172)。我が意を得たりとばかりモントーヤが念を押す。「そう思いますか」

(“You think so”)。「絶対にです」(“Absolutely”)、ジェイクがきっぱりと答える。ジェイクはこれだけにとどまらず、更に付け加える。

「現在ここには闘牛士を集めているアメリカ人の女がいますよ」(“There’s one American woman

down here now that collects bull-fighters”)。つまりジェイクが言おうとしていることは、ロメロに伸びる誘惑の手はそれだけではなく、他にもある。それは女である。女にも気をつけた方がいいですよ、ということである。ジェイクのこのような言葉には、有望な闘牛士ロメロを守りたいという気持だけではなく、彼への熱い思いも含まれている。その上、本当の「アフィチオナード」として、本当の「アフィチオナード」であるモントーヤの期待に応えたいとする気概もある。人は、自分が価値を認めている人から認められることに無類の喜びを感じるものである。

それが何たることか、ジェイクはモントーヤのこのような思惑を全て打ち壊すようなことを平然とする。これはとんでもない裏切り行為である。このような裏切り行為は決して許されることではない。人間としてやってはいけないことである。では、その裏切り行為とは何か。それはジェイクが、ブレットをロメロに引き合わせたことである。ではなぜブレットをロメロに引き合わせることがモントーヤに対する裏切り行為となり、人間としてやってはいけないことになるのか。

それはブレットが男を漁っている女だからである。早い話が、男を墮落させる女だからである。ブレットは不幸な女である。男運の全くない女である。彼女は第一次世界大戦中、篤志看護婦として病院で働いていた。その頃彼女には心から愛する人がいた。しかし、その心から愛していた人は赤痢で死んだ。彼女のショックには計り知れないものがあった。その傷は彼女の魂に深く刻まれる。しかし彼女の傷はこれにとどまらない。その後ブレットはアシュレという男と結婚するが、この男はとんでもない男で（恐らく彼は精神に異常を来していたのであろう）、ブレットをいつも床の上で寝かせていたという。いや、こんなことだったら我慢できたかも知れないだろうが、彼はブレットを殺す、と言っていつも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ピストルから弾丸を抜かなければならなかったというのである。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ほうが変である。この2人の男を通してブレットが受けた傷には相当なものがあったようだ。それはトラウマとなり、癒し難い傷となって彼女の心にべったりと貼り付く。

この傷を癒そうと、ブレットはまるでものに憑かれたかのように酒を浴びる。そして男を追いかける。まさに忌まわしい過去を忘れ、むさぼるようにして魂の安らぎを求めているかのようなのである。もしジェイクが性的不能者でなかったら、ブレットのこのような乱行は止んだかも知れない。そしてトラウマは癒されたかも知れない。何しろ彼女はジェイクを心から愛していたので。ところがブレットは何と男運の悪いことか。よりによってジェイクは性的不能者だったのである。これでは傷は癒されるところが、ますます深くなり、彼女のトラウマはひどくなるばかりである。かくてブレットの乱行は度を増し、男漁りは加速する。

現在のブレットは男に対して全く分別がなくなっている。何しろコーンと関係を持つくらいであるから。コーンという男がいかに品位のない男であるかについては既に述べた³⁾。それ故ここでは繰り返さない。いや、そんなことよりも第一、コーンはブレットからその人格を全く認められていないのである。ブレットは自分の回りに集まる人々の品定めをして、彼女の基準に合った人を「私達の一人」(“one of us”) (32) と称しているのだが、コーンはブレットにとって「私達の一人」ではないのである。要するに度外視されている。軽蔑さえされている。自分が度外視し、軽蔑さえしている男と関係を持つとはいったいどういうことなのだろうか。これはブレットが男に対しては全く分別がないことを示唆していると言ってもよいだろう。

このブレットをロメロに引き合わせたらどういうことになるか。ロメロがいかに威厳ある立派な闘牛士であるかについては既に述べた。その上ロメロは美男子である。まさに男の中の男である。「彼は私が今までに見た男の中で最も美しい顔立ちをしていた」(“He was the best-looking boy I have ever seen”) (163) とジェイクが言う。そして逞しい。「ロメロの顔はすごく日に焼けていた」(“Romero's face was very brown”) (175)。そして礼儀正しい。「彼の物腰はとても立派だった」(“He had very nice manners”) (175)。このようなロメロに対してブレットが心を引かれないはずがない。闘牛場でロメロを初めて見たブレットが言う。「本当にあの人、素敵じゃあなくて」(“Oh, isn't he lovely”) (165)。

そしてブレットの方も魅力的な女性である。確かに彼女は現在34歳で、決して若くはない。しかし彼女には男を引きつける特別な魔力がある。その魔力のために、彼女に接した男達は一人残らず彼女の虜になる。ブレットの魔力は第一にその容姿の美しさにある。まずジェイクの目に映ったブレットから紹介すると、

Brett was damned good-looking. She wore a slipover jersey sweater and a tweed skirt, ... She was built with curves like the hull of a racing yacht, and you missed none of it with that wool jersey” (22)

ブレットはとても美しかった。彼女はジャージのセーターを着、ツイードのスカートをはいていた。……彼女の身体はレーシングヨットの船体のような曲線をしていた。ジャージのセーターのためにそのようなことが全て分かった。

ジェイクの目にこのように映ったブレットの姿を目撃したコーンの反応は更にすごい。「彼は彼の同国人が約束の地を見た時のような顔つきをしていた」(“He looked a great deal as his compatriot must have looked when he saw the promised land”) (22)。「彼の同国人が約束の地を見た時」というのは、コーンがユダヤ人であることを考えると、モーゼに率いられたイスラエルの民が神よりの約束の地カナンを前にして大きな希望を胸に膨らませ、恍惚としていたときの気持をほめかしている。どうやらコーンはそれほどにブレットの美しさに心を奪われてしまったようである。更にブレットには現在結婚しようとしているマイク・キャンベルという男がいるのだが、このマイクが言う。「彼女は美しい、いい女じゃあないか。そう思わないかい、ジェイク」(“Isn't she a lovely piece? Don't you think so, Jake?”) (79)。どうやらブレットの容姿の美しさはただごとではないようである。

しかし、人間の魅力は容姿の美しさだけにあるわけではない。それだけではすぐに底が見えてしまう。やはり人間的な厚み、深みといったものがなくてはならないだろう。では人間的な厚み、深みとはどういうものなのだろうか。それを表す印

などというものがあるのだろうか。勿論どのような形であれ、あることはあり、それは形を伴って自ずと現れるものである。そしてブレットの場合には、彼女が時々口にする「私達の一人」という言葉にこそそれが現れているように思われる。彼女が「私達の一人」と言う時、彼女はそこに一つの基準を設けている。そしてその基準は決してでたらめなものではなく、彼女の価値観から発せられている。ではその価値観とはどのようなものなのか。それはブレットの人間的な厚み、深みを証拠付けるものなのだろうか。

“You haven’t been around much, have you?”

“Yes, my dear. I have been around very much, I have been around a very great deal.”

“Drink your wine,” said Brett. We’ve all been around. I dare say Jake here has seen as much as you have.”

“My dear, I am sure Mr. Barnes has seen a lot. Don’t think I don’t think so, sir. I have seen a lot, too.”

“Of course you have, my dear,” Brett said.

“I was only ragging.” “I have been in seven wars and four revolutions,” the count said.

“Soldiering?” Brett asked.

“Sometimes, my dear. And I have got arrow wounds. Have you ever seen arrow wounds?”

“Let’s have a look at them.”

… Below the line where his ribs stopped were two raised white welts. “See on the back where they come out.” Above the small of the back were the same two scars, raised thick as a finger.

… “I told you he was one of us. Didn’t I?” Brett turned to me. (59–60)

「あなたはいろんな経験をしているのではありませんか」

「はい、いろんな経験をしています。本当にいろんな経験をしています」

「ワインをお飲みください」ブレットが言った。

「私達はみんないろんな経験をしています。ここに居るジェイクもあなたに負けないくらいのいろんな経験をしています」

「そう、バーンズさんもきっといろんな経験をしていると思います。私がそう思っていないなどと考えないでください。私もいろんな経験をしています」

「勿論あなたはそうですよ」ブレットが言った。

「ちょっとからかってみたのです」

「私は戦争を7回、革命を4回経験しています」伯爵が言った。

「軍務ですか」ブレットが尋ねた。

「時にはね。矢の傷も残っています。矢の傷って見たことがありますか」

「見せてくれませんか」

…肋骨が終る線の下に2つの盛り上がった白いみみずばれがあった。「矢が出てきた背中をご覧なさい」背中のくびれた部分の上に同じような2つの傷があった。それは指のように盛り上がって分厚くなっていた。

…「私達の一人だと言ったでしょう」ブレットが私の方に向き直って言った。

ブレットは、伯爵が「私達の一人」であると言う。ブレットの言う「私達の一人」とはどのような人なのだろうか。上記のブレット、ジェイク、伯爵の3人のやりとりから分かることは、人生経験豊かな人、特に致命的な傷を受けている人ということになりそうである。背中に突き抜ける矢の傷を持った伯爵は勿論のこと、戦争での負傷のために性的不能者になったジェイク。そして心から愛していた人を赤痢で失い、更に再婚した男からはひどい虐待を受け、そのトラウマから抜け出せないブレット。この3人に共通しているものは肉体的、精神的な深い傷である。しかしブレットが「私達の一人」と言う時には、単に深い傷を負っているということだけではなさそうである。もっと深い意味がありそうである。つまり、ブレットの価値観を如実に表すものがありそうに思われる。

このことはこの後のジェイクの言葉にほのめかされている。この後3人はボアのレストランで食事をする。この様子をジェイクが語る。「それは良い夕食だった。食事は伯爵の価値の中ですばらしい位置を占めていた。ワインもそうだった。伯爵は食事中礼儀正しかった。ブレットも礼儀正しかった。それは良いパーティーだった」(“It was a good dinner. Food had an excellent place in the

count's values. So was vine. The count was in fine form during the meal. So was Brett. It was a good party") (61)。この一節の文章が伝えていることは、3人の人間性の豊かさである。伯爵のそれは手に取るように分かる。ブレットの場合もそうである。このことは「伯爵は食事中礼儀正しかった。ブレットも礼儀正しかった」という描写に明らかである。つまりブレットが「私達の一人」と言う時には、人生経験が豊かであること、そしてそこから派生する人間性の豊かさを持っていること、がその条件になっているようである。とすると、このような価値観を持つブレットは人間として厚みがあり、深みを持っているように思われる。

前置きがずいぶん長くなってしまったが、このようにブレットはその外見のみならず、その人間性にも豊かなものがある。外見的美しさと内面的な豊かさが備わっているのである。そしてこのことが、ブレットに会った男達が次々と彼女に魅せられてしまう理由なのである。

このブレットにロメロを引き合わせるようなことを、ジェイクはする。モントーヤホテルの地下の食堂でジェイクはロメロや闘牛批評家とワインを飲みながら闘牛の話に花を咲かせている。その食堂ではブレットもマイク達と食事をしている。

「あなたの友達を紹介してくれない」("You might introduce your friends") (175)、となりのテーブルからブレットがジェイクに声を掛ける。彼女のお目当てはロメロであることは間違いない。声を掛けたブレットの目がロメロにじっと注がれていたというから。「彼女はペドロ・ロメロから目を離さなかった」("She had not stopped looking at Pedro Romero")。

ブレットにこのように言われたジェイクは、ロメロを紹介することになる。ブレットにロメロを紹介すればどんなことになるか、その結末は分かっていたというのに、なぜジェイクはロメロにブレットを紹介したのだろうか。この疑問を考えることが、ジェイクの掟を考えることになる。そこで、この疑問についてじっくり考えてみることにする。

ジェイクは戦争で負傷し、性的不能者になってしまった。性的不能者であるということがどれほど深刻なものであるか。たぶんそれは人を想像を絶するほどの絶望状態に追い込むものであろう。

それはまさにイタリア人陸軍大佐がいみじくも語ったように、「命以上のもの」("more than your life") (31) を失ってしまったも同然であろうから。

このような人にとって「生きる」はどういうことであろうか。私達人間が「生きる」ことの最も基本的なことは、空腹を満たすこと、仲間と群れること、そして子孫を残すことであろうから。従ってこれらのうちの一つでも欠くというのは、普通の感覚では考えられない、大変なことであろう。

このような人の人生観が、普通の人のそれと違うことは十分に察しがつく、ではどう違うのか。まず考えられることは、世の常識とか神の教えといった通常の規範は、彼にとって何の役にも立たないということであろう。ジェイクは言う。「私が知りたいことの全ては、そこでどのように生きるかということだった。そこでどのように生きるか分かれば、そこから多分その全てが分かるだろう」("All I wanted to know was how to live in it. Maybe if you found out how to live in it you learned from that what it was all about") (148)。この言葉は、通常の規範がいかに彼にとって無益であるかを語っている。何しろ「私が知りたいことの全ては、そこでどのように生きるかということだった」というのだから。もし世の常識とか神の教えといった通常の規範が役に立つのなら、それを頼りに生きていけばいいはずであるから。

もし世の常識とか神の教えといった通常の規範が役に立たないとしたら、いったい何を頼りに生きていったらいいのだろうか、どのように生きていったらいいのだろうか。一つヒントになることはジェイクが大変な闘牛好きであるという点である。これは他の人とははっきり区別される。ジェイクがいかに本当の闘牛好きであるか、ということは、モントーヤが最もよく知っている。モントーヤは闘牛に対する情熱にかけては誰にも負けない。彼はホテルを経営しているのだが、一流の闘牛士はみんな必ず彼のホテルに泊まるという。しかし商売的な闘牛士は、一度は泊まっても次からは泊まらなくなるという。このようなエピソードからも、モントーヤがいかに本物の闘牛好きであるかが分かる。本物の闘牛好きを「アフィチオナード」と言うことは既に述べたが、モントーヤこそ

まさにその「アフィチオナード」である。このモントーヤがジェイクを本物の「アフィチオナード」とであると認めているのである。

He smiled again. He always smiled as though bull-fighting were a very special secret between the two of us ; a rather shocking but really very deep secret that we knew about. He always smiled as though there were something lewd about the secret to outsiders, but that it was something that we understood. It would not do to expose it to people who would not understand. (131)

彼は再び笑った。闘牛は私達二人の間の特別な秘密であるかのように、私達が知っているショッキングだが、極めて深い秘密であるかのように、笑った。その秘密に関しては、外の人に対しては何か淫らなものがあるが、私達はよく理解し合っているものである、といったふうにいつも笑った。理解しようとしないうちにその秘密を打ち明けても役に立たないであろう。

このようにモントーヤとジェイクとの間には闘牛に関して特別な秘密がある。それは口に出さなくてもお互いに理解し合っているものであり、外の人に対しては何か淫らなものを感じさせてしまうようなものであったという。つまり、闘牛に関しては二人だけに通ずる深遠な絆があったようである。このことだけでも十分なのだが、更にモントーヤは言葉で、ジェイクは本物の「アフィチオナード」という。ジェイクの友達のビルも相当な闘牛好きなので、ジェイクがビルのことを「彼は本物の闘牛好きです」(“He’s a real aficionado”) (131) と言うと、モントーヤは「でもあなたほどの闘牛好きではありません」(“But he’s not aficionado like you are”) と、即座に却下する。本物の闘牛好きからこのように見られているジェイクは、間違いなく本物の闘牛好きである。

ここにジェイクがどのように生きているかを理解する鍵がある。確かに闘牛は見世物の一つである。しかし、命をかけた見世物である。本物の闘牛がいかにか死と隣り合わせているか、次の記述はそれを伝えている。

In bull-fighting they speak of the terrain of the bull and the terrain of the bull-fighter. As long as a bull-fighter stays in his own terrain he is comparatively safe. Each time he enters into the terrain of the bull he is in great danger. Belmonte, in his best days, worked always in the terrain of the bull. This way he gave the sensation of coming tragedy. People went to the corrida to see Belmonte, to be given tragic sensations, and perhaps to see the death of Belmonte. (213–214)

闘牛に於ては牛の領域と闘牛士の領域がある。闘牛士は自分自身の領域にとどまる限りは比較的安全である。牛の領域に入る度にかかなりの危険に晒される。最盛期のベルモンテはいつも牛の領域で闘った。このようにして彼は悲劇の到来の予感を与えた。人々はベルモンテを見るために、悲劇的な感動を与えられるために、そして恐らくはベルモンテの死を見るために、闘牛へ出かけた。

どうやら本物の闘牛は死と隣り合わせになっているらしい。現在の闘牛に於て、かつてのベルモンテの役を果たしているのはロメロのようだ。ロメロの闘牛にはごまかしがない。最盛期のベルモンテと同じように牛の領域に入って闘っている。「彼が牛を間近でやり過ごす度毎に、人と牛と、牛の前で膨らんで旋回しているケープは、一つの鋭い、くっきりと描かれた塊となった」(“Each time he let the bull so close that the man and the bull and the cape that filled and pivoted ahead of the bull were all one sharply etched mass”) (217)。ジェイクはこのような闘牛を愛し、このような死と隣り合わせの闘牛をするロメロに最高の価値を見出している。

更に言うならジェイクは、死と隣り合わせの闘牛にしか生きていることの実感を見出せないのだ。なるほど彼は新聞記者として仕事に喜びを見出しているように思われる。「仕事に行くのは楽しかった」(“It felt pleasant to be going to work”) (36)。あるいは、知人達と楽しく酒を飲んでるように思われる。また時にはテニスや釣りに興

じているように思われる。しかしどうやらこのようなことは全て、ジェイクにとっては借り物の生活なのであろう。つまりジェイクにとっては虚の行動、ごまかしのようなのだ。心底からそれらを享受しているわけではない。享受できないのは、人間としての一番の根本をやられているからである。そしてこのことは彼の肉体だけでなく、精神にも及んでいるようだ。ジェイクのこのような状態を、友人のビルが巧みに指摘する。

“You’re an expatriate. You’ve lost touch with the soil. … You drink yourself to death. You become obsessed by sex. You spend all your time talking, not working. You are an expatriate, see? You hang around cafe’s.” (115)

あなたは国籍喪失者なんだ。土との接触を失っている。……死ぬまで酒を喰らい、性に取り憑かれている。いつも喋っている、働くこともなく。あなたは国籍喪失者なんだ。そうだろう。カフェをうろつき回っている。

国籍喪失者というのは根無し草である。帰属先がなく、ふらふらと漂っている。しっかりと根を下ろす基盤がないので、生きていることの重みがない。このような人生は刹那的である。このような人生にもし生き甲斐があるとしたら、風俗とか伝統に縛られていないので、現在の一瞬、一瞬を精一杯生きることにはしか道がない。

さて、そろそろ本題に入ろう。なぜジェイクはロメロにブレットを引き合わせるようなことをしたのか。ジェイクの生きる指針は一瞬一瞬を精一杯生きることにある。そして具体的にこのような生き方を体現しているのが、ロメロのような死と隣り合わせに生きる本物の闘牛士である。従ってロメロのような闘牛士はジェイクにとって理想像である。ロメロはジェイクの理想が形になって具現した姿である。言うなればロメロはジェイクの分身である。そこで、ジェイクはロメロにブレットを引き合わせたのではなかろうか。自分が果たせない恋人役の代役をロメロにやらせようとしたのである。確かにこのような行為は、コーンが言うように「売春宿の主人」(“pimp”) (190) のそれ

かも知れない。しかし、ジェイクがブレットを肉体的に愛することができない以上どうしようもないことである。

この点については、ジェイクは今までもずいぶん辛い思いをしてきた。彼にとってブレットはあくまでも精神的な恋人であり、それ以上のものになることはできなかった。ブレットが肉体的関係を持っている人物は、作品の中で示唆されているだけでもミピポポラス伯爵、マイク、コーン等がいる。ジェイクはこれを、ただ指をくわえて見ていることしかできない。しかもミピポポラスはまあまあとしても、マイクやコーンは品位のない人間である。こんなことを考えると、ジェイクにはブレットがロメロとなら関係したとしても我慢できるという思いがあったのではなかろうか。もっと極端なことを言うなら、ジェイクはブレットとロメロの関係をもっと積極的に推し進めようとしたのではなかろうか。

ジェイクはブレットを心から愛している。ブレットもジェイクを心から愛している。だからもしジェイクが精神的にばかりでなく、肉体的にもブレットを満足させてやることができたなら二人は本当にいい関係でいることができただろう。しかしジェイクは性的不能者である。それ故二人の関係は中途半端なままに終る。従ってジェイクは心から愛するブレットの幸せを願い、ブレットに自分の理想であるロメロを引き合わせたのではなかろうか。このように考えた場合、ジェイクはそれほどお人好しだろうか、といった疑問は確に残る。このことについては後で述べるが、結論を先に言っておくと、ジェイクはそれほどにお人好しで、それほどにブレットの幸せを願っていたのである。

自分が心から愛している女を他の男に譲る。これは大変なことである。しかもその相手はただならぬ男である。自分よりもはるかに魅力的である。肉体的ばかりでなく精神的にも女性に対して100%の満足を与える資質を持っている。このことは自分の完全敗北を意味する。

しかし本物の愛というものは、全てが自己犠牲の上に成り立っているのではなかろうか。自己犠牲を伴わない本物の愛などというものがあるのだろうか。愛には2つの型がある、と宮城音弥は言う。

この2つの傾向は恋愛だけではなく、すべての愛に見られる。これはピションが愛情に2つの型を区別して、それぞれ「奪う愛」と「捧げる愛」とよんだものに相当する。「奪う愛」は自分が積極的に愛するよりも、自分を愛させようとするもので、コドモが最初にもつのはこの型の愛情である。精神的に発達するにしたがって、「捧げる愛」ができてゆく。コドモは積極的に自分をなげ出して、他を愛するようになる。⁴⁾

「捧げる愛」は「積極的に自分をなげ出して、他を愛する」ものだという。このような「捧げる愛」の中で究極のものは、コルベ神父のそれであろう。

……一人の脱走者があって、そのために10人を任意に選んで飢餓室に入れることになったのですが、そのうちの一人の男が泣き始めたら、列の中からコルベ神父が出てきて、「私は神父だから、女房も子供もない。この人には女房、子供があるから、私を身代わりにしてください」と言って、代わってみんなと一緒に飢餓室へ入れられて、……こういうコルベ神父のようなことは私にはとてもできないし、考えただけでもこわくなります。人に身代わりになって死ぬということは、われわれ常人には到底できないことです。しかし、そういう愛の行為をコルベ神父はやった。それを私は奇跡だということです。なぜなら奇跡とは常人のできぬ愛の行為だからです。⁵⁾

勿論、ジェイクの「捧げる愛」はこれほど崇高なものではないだろう。さまざまな思惑と邪念が混ざりあった低俗なものであろう。しかしそれがいかに低俗なものであれ、彼はブレットのために自分を犠牲にした。ブレットの幸せを考えた。ブレットが次から次へと男の間を渡り歩いているのは、極論するなら、ジェイクのせいである。もしジェイクがブレットを肉体的にも愛することができたら、ブレットはジェイクを愛することだけに落ち着くはずである。なぜならブレットが amoral（道徳観念がない）的に男を求めているのは、トラウマから抜け出せないからである。彼

女はそのショックからいまだに立ち直っていない。そのトラウマを抱え、それに苦しめられている。だからもしジェイクがブレットを肉体的にも愛することができたら、ブレットはそのトラウマを克服することができるはずである。何しろブレットはジェイクを心から愛しているのだから。

“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)

「さわらないで」彼女が言った。「どうかさわらないで」

「どうしたんだい」

「耐えられないの」

「おゝ、ブレット」

「いけないわ、分かっているくせに。耐えられないの、それだけ。おゝ、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。あなたにさわられるとぐにゃぐにゃになってしまうの」

ジェイクが肉体的にも健全であったなら、ブレットは amoral な女にはならず、moral な女になったはずである。ジェイクはブレットの幸せを願った。ロメロが肉体的にも精神的にもブレットを満足させることのできる男であることは十分に分かっていたし、ブレットがロメロにすっかり魂を奪われていたことも十分に知っていたので。ロメロを初めて見た時のブレットの言葉には、男に魂を奪われた女の叫びがある。「本当にあの人素敵じゃあなくて。……それにあの緑色のズボンも。（ロメロをもっとよく見るために）明日はあなたの望遠鏡を借りるわ」（“Oh, isn’t he lovely. … And those green trousers. … I must borrow your glasses to-morrow”）(165)。

しかし、いくら愛する女のためとは言え、自分の愛する女を手放すというのは辛いことである。しかも相手は極めててごわい男である。相手がミピポポラスやマイク、コーンだったら負けないかも知れない。ブレットが彼らの虜になるということはない。ブレットは必ずジェイクの元に帰ってくる。しかし相手がロメロでは、よほどのことがない限り、ブレットがジェイクの元へ帰ってくることはないだろう。従ってブレットをロメロに譲るということは、これはもう断腸の思いの出来事である。まさにほらわたが千切れる思いで、切なく、辛いことである。ジェイクが仕掛けたこととは言え、それでも心の片隅には、ひょっとしたらその策は水泡に帰するかも知れない、という思いもあったはずである。私達の思いなんてそう簡単に割り切れるものではない。決断などというものはいずれ半々の気持ちをちょっと上回ったときに下す決定であろう。

かくてジェイクの思惑が実現する。そしてブレットがジェイクに向かって別離宣言をする。

“Do you still love me, Jake?”

“Yes,” I said.

“Because I’m goner,” Brett said.

“How?”

“I’m a goner. I’m mad about the Romero boy. I’m in love with him, I think.”

“I wouldn’t be if I were you.”

“I can’t help it. I’m a goner. It’s tearing me all up inside.”

“Don’t do it.”

“I can’t help it. I’ve never been able to help anything.”

“You ought to stop it.”

“How can I stop it? I can’t stop things. Feel that?”

Her hand was trembling. (183)

「まだ私を愛していますか、ジェイク」

「愛していると」、私が言った。

「私がどうしようもない女でもですか」

「どんなふうに」

「私はどうしようもない女なの。ロメロに夢中なの。あの人に恋しているのではないかと思う

の」

「私だったらしないね」

「どうしようもないの。私はどうしようもない女なの。私の心はずたずたに引き裂かれているの」

「そんなことをしてはいけません」

「どうしようもないの。どうしようもなかったの」

「そんなことは止めるべきです」

「どうやって止められるの。止められないわ。感じられない？」

彼女の手は震えていた。

いやいや、たとえこのような別離宣言をされたとしても、もしジェイクに断じてモントーヤを裏切らないという、もしくはロメロの成長を熱望するという、更にはあくまでも闘牛を愛する「アフチオナード」としての己を貫くという断固たる、強い気持ちがあったら、たとえブレットとロメロを引き合わせてしまった後だとは言え、彼ら二人の関係を決定的な方向に進むのを妨げることはできたかも知れない。なぜなら、もしジェイクの手助けがなかったら、ブレットにはロメロとの関係を更に前進させるほどの勇氣はなかったように思われるから。「ねえ、お願いだから、私のそばにいてください。私がこれをやり遂げるのを見ていてください」(“Oh, darling, please stay by me. Please stay by me and see me through this”) (184)。

勿論、ジェイクの助けが全てであったなどと言うつもりはない。しかし既に述べたように、ジェイクは自分が果たせない恋人の役をロメロに代役させたかった。それでブレットに「私がこれ（ロメロとの関係）をやり遂げるのを見ていてください」と言われると、「いいとも」(“Sure”)と答え、ブレットにくっついてロメロを捜しに行く。そしてあるカフェでロメロを捜し出すと、ブレットとロメロの関係が進展するように取り計らう。つまりロメロとブレットが二人きりになれるような状況を意図的に作り出してやる。このことは次の描写を注意深く読んでみると、手に取るように分かる。

I stood up. Romero rose, too.

“Sit down” I said. “I must go and find our friends and bring them here.”

He looked at me. It was a final look to ask if it were understood.

It was understood all right. (187)

私は立ち上がった。ロメロも立った。

「座っててください」私は言った。「私は友達を捜し、ここに連れてこなければなりません」彼は私を見た。それは、分かっているのかと問うような、念を押す眼差しだった。

すっかり了解されていたのだ。

この描写は、ジェイクとブレットがロメロを捜し出し、一緒になった場面である。3人はグラスを片手に話に興ずる。やがてジェイクが席を外そうとする。するとロメロも立ち上がってその場を去ろうとする。しかしジェイクはロメロがその場を去ることを止めさせる。つまりジェイクはブレットがロメロとの関係を進展させる手助けをしたのである。

そして20分後、ジェイクが戻ってくる。既にブレットとロメロの姿はない。ジェイクが意図的に作り出した状況である。その証拠にジェイクはたった一人で戻ってくる。友達など連れてきてはいない。ジェイクはブレットとロメロとの関係が進展することを願い、コーンの言葉を借りるなら、「売春宿の主人」のようなことをやったのである。

かくてブレットはジェイクの元を去っていく。予想した通り、どうやらロメロもすっかりブレットの虜になってしまったようだ。突然の虚脱感がジェイクを襲う。「ブレットとペドロ・ロメロはいなかった。コーヒークラスと、私達3人の空になったコニャックグラスがテーブルの上にあった」(“Brett and Pedro Romero were gone. The coffee-glasses and our three empty cognac-glasses were on the table”) (187)。

このように見てくると、ジェイクには私が期待していたような、あるいは第3章でにやけた若者たちに対して見せた振舞や、売春婦に対して取った態度の中に見られたあの潔い「コード」は見られないように思われる。実際、私が知っているヘミングウェイの「コードヒーロー」の潔さには、どこか胸がスカッとするような爽快感があった。

生来の意気地なさ、臆病さを克服し、ついに手負いの猛獣に立ち向かうほどに成長した『フランシス・マコウマーの短い幸福な生涯』のマコウマー。恋人との最後の別れ（その時点ではそう思われた）に、心で泣いて顔で笑っていた『武器よさらば』のキャサリン。迫り来る敵を前に味方の人々の逃亡を助けようと、瀕死の重傷を負いながらも銃の照準を合わせていた『誰がために鐘は鳴る』のジョーダン。肉体の限界を超えても精神力で鯨との闘いを続けた『老人と海』のサンチャゴ、等々。これらの人々には痛快な、その人々に独自の「コード」があった。

ところが、今問題にしているジェイクの行動には、その種のものは全く見られないように思われる。何しろ女と男を引き合わせ、結びつけるという「売春宿の主人」のようなことをやっているのだから。このようなことをするジェイクのどこに「コードヒーロー」としての一面があるのだろうか。そしてこのような行動のどこに「コード」があるのだろうか。

「コード」とは何か。それは「暴力と無秩序と悲惨さの世界で、ちゃんと生きていくことができる」(“would be able to live properly in the world of violence, disorder and misery”) ⁶⁾ 規範（判断、評価、行為などの基準となるもの）⁷⁾ である。口では簡単に言えるが、しかし「暴力と無秩序と悲惨さの世界でちゃんと生きていくこと」の規範を敢行すること、これは大変なことである。まさしく辛苦を伴うことである。極論するなら、ヘミングウェイの「コードヒーロー」が最後にすることは、血の涙を流すほど辛いことなのである。

ところで、私達にとって最も辛く耐え難いこと、それは自分の存在を否定されることであろう。動物行動学者の竹内久美子によると、私達一人一人は決して種のためではなく、自分の遺伝子を残すために存在しているのだという。種のことなど全く関係ない。このことはちょうど「地動説」が正しく、「天動説」は誤りであるのと同じであるという。つまり私達の存在は「種の保存」のためにあるのではなく、「個々の遺伝子の保存」のためにある、というのが正しいというのである。

そして氏は「種の保存」がいかに間違いで、「個々の遺伝子の保存」がいかに正しいかを、ハヌマンラングールというサルの子殺しを例に

挙げて説明する。ハヌマンラングールは一頭のオスが数頭のメスとその子供たちを従えてハーレムを作っているのだが、このオスはその母系集団によそからやってきたものである。つまり彼は同じような境遇にある若いオスと徒党を組んでうろつき、リーダーオスが弱っていそうなハーレムを見つけると、仲間と共にリーダーを襲って追放し、自分が他を出し抜いて新リーダーの座に収まる。しかし、彼もやがて旧リーダーと同じ運命をたどる。弱くなると若いオスの徒党によってそのハーレムから追放される。このような繰り返しによってハヌマンラングールの母系集団は存続しているという。更にこのハヌマンラングールには「子殺し」という行動がある。しかしこの「子殺し」という行動はハヌマンラングールだけのものではなく、私達人間もやる可能性を秘めているらしい。「かつて女は2年とかそれ以上もの間子どもに授乳していた。頻繁に授乳している限り、排卵は起きず、子も出来ない」⁸⁾というから。では「子殺し」とは何か。旧リーダーを追い出し、新リーダーになったオスがまず最初にやることは何か。

メスの抱いている乳飲み子を殺す。一頭残らず、乳飲み子だけを！ なぜ乳飲み子なのでしょう。それは、哺乳類の宿命のようなもの。哺乳類では普通、子供が頻繁に乳を吸っている限り、メスは発情もしなければ、排卵も起こさない。つまりオスとしては、いつまでたっても自分の子をつくることができないのです。——子を殺す。そうすれば乳を吸う者がいなくなり、メスは発情と排卵を再開する。オスは初めて自分の子をつくることができるわけです。この行動が、どんなに「種の保存」に反していることでしょう！ せっかく生まれ、そこまで育った子を無に帰すのです。とんでもなく「種の保存」に反しているではありませんか。オスは自分の子、自分の遺伝子を一刻も早く残すために子を殺すのです。自分が大事。「種の保存」なんて、知ったことではないのです。⁹⁾

私達は「種の保存」のためではなく、自分の遺伝子を残すために生存している。氏の言う通り、私達は決して他人のために生存しているのではないと思う。自分の遺伝子を残すために、つまり基

本的には自分自身のために生存しているのである。これは揺るぎない真理であろう。言うなれば、これは私達の遺伝子にきっちりと組み込まれているものである。とするなら私達にとって最も辛いこと、耐え難いことは、自分の存在を否定されること、ということになるだろう。

確かに性的不能者のジェイクには自分の遺伝子を残すことは不可能である。したがってジェイクには、人間は自分の遺伝子を残すために存在している、という論が適用されないように思われる。しかしジェイクが性的不能者であろうがなかろうが、そのようなことは既に彼の遺伝子の中に組み込まれているものであろう。ゆえにジェイクにとっても自分の存在を否定されることは辛く、耐え難いはずである。

ジェイクにとって、ロメロのような死と隣り合わせに生きている本物の闘牛士は彼の理想像であり、彼の理想が姿形を持って具現した姿である。それ故ロメロはジェイクの分身である。それでジェイクはロメロにブレットを引き合わせた。自分が果たせない恋人の役をロメロに代役させるために。しかし、考えてみればこれは頭の中での計算である。言ってみればタテマエ的なものである。更に言うなら打算的で、冷静な知に基づいたものである。しかし心の中ではこのような訳にはいかないだろう。つまりホンネ的な情に基づいた部分では、ロメロにブレットを引き合わせるなどということはとんでもないと思っているはずである。しかし結局は知が情に優ったのである。いや、ブレットの幸せを考えて前者を選んだのであろう。ブレットがロメロと共にいることになったらブレットのトラウマも消え、男漁りも終りになるだろうと考えて。しかしこのことは自分の存在を否定することになる。私達にとって自分の存在を否定されることほど辛く、耐え難いものであることは先程述べた通りである。要するに、ジェイクはブレットのために「捧げる愛」を敢行した。普通の人にはできないことである。ジェイクはとんでもないことをやったのである。とすると、ここにジェイクの「コード」を感じざるを得ない。こういったことこそまさにヘミングウェイの「コードヒーロー」達がやっていることである。故にここにコードヒーローとしてのジェイクの姿を見る。

《註》

- 1) Philip Young, *Ernest Hemingway*, notes by Ichiro Isi (東京、研究社、1961) P. 10
- 2) Ernest Hemingway, *The Sun Also Rises*, (New York, Charles Scribner's Sons, 1969) P. 131. 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。
- 3) 岩崎「ジェイクと掟」東京工業高等専門学校研究報告書第36（2）号
- 4) 宮城音弥『愛と憎しみ』（東京、岩波書店、1967）P. 15
- 5) 遠藤周作『私にとって神とは』（東京、光文社、1984）P. 72
- 6) Philip Young, *Ernest Hemingway*, notes by Ichiro Isi (東京、研究社、1961) P. 8
- 7) 林 巨樹監修『現代国語例解辞典』（東京、小学館、1989）P. 284
- 8) 竹内久美子『遺伝子が解く――愛と性の「なぜ」』（東京、文藝春秋、2003）P. 122
- 9) 竹内久美子『遺伝子が解く！ 男の指のひみつ』（東京、文藝春秋、2004）P. 248－249

（平成17年 6 月 2 日 受理）

臨床英語教育人間学序説 (1)

—問題の所在あるいは本質論および目的論を中心に—

相 澤 俊 行*

Clinical English Language Pedagogy as Human Science (1)

—Focusing on the Fundamental Issues of English Language Pedagogy—

Toshiyuki AIZAWA

It has long been assumed that Japan suffers from the “English education problem.” Aside from the examination of whether the claim is valid or not, isn’t the English language pedagogy as a discipline to blame at all? Do the methodologies of research in the discipline work to better the learner’s English proficiency in classroom? From this article on, fundamental issues that have not often been questioned will be discussed. The aim of the articles is that the currently dominant approach in the discipline, the “scientific approach,” would be transformed into a more clinical one, focusing upon the socio-cultural aspects including the relationship between the learners and the teachers. This article will consider these three points; the current conditions of English education, what the English language pedagogy is all about, and the aims of learning and teaching English at school.

(Keywords: English language pedagogy, TESL/TESOL, aims of education)

はじめに

我が国の英語教育には問題があると言われて久しい。英語教育学研究者はこの問題を必ずしも意識して研究する義務があるわけではない。しかし、英語教育のマクロコスモス（言語政策）とミクロコスモス（教室）をその研究対象とする英語教育学が、実は学校教育としての英語教育の実践の向上に必ずしも貢献してこなかった（柳瀬，1995）^(註1)、との指摘が研究者の中にも存在する。この指摘は、はたして不当なものなのだろうか。英語教育の現状を踏まえつつ、従来ほとんど問われることのなかった問い立てをすることで、英語教育学が真に英語を教える者と、学ぶ者に焦点を当てた人間学への「方法論的転回」を遂げるための視点を提供すること、これが本論の目的である。

言い換えると、本論は分かったことを報告するための論文ではなく、分かったと思われることが今どのように分らなくなっているのかを論じることになる。分かったことになっている英語教育の根底に潜む問い立てをすること。分かったと思っているのはある前提や観点に立つ場合のみであるのにもかかわらず、分かったつもりでいることが最早できないことを明らかに

すること。それはとりもなおさず、私自身英語教育学の限界をあらためて掘り起こすことにより、教育人間学^(註2)につながる使命を引き受けなおし、英語教育学に出会いなおすことを希望していることに起源する。その帰着点におのずと展開される風景の中に、私が構想する「臨床英語教育人間学」の定義と方向性がおぼろげながら浮かび上がることを期待している。自明とされる問いに対して答えることによって、これから英語教師を目指そうとする人や、現職の英語教員であっても改めて出発点に戻ってより広いパースペクティブを得たいとする人に、何ほどか資すると思われる。

今後扱うテーマは、生のミメシス（mimesis:再現）の視点から、教育の持つ根源的消費性を踏まえた英語教育目的論、教師論の側面からの日本人英語教師とネイティブネス、実存的時空間としての英語授業論、臨床知^(註3)発見・創成・伝達の視点から見た英語教育学メソドロジー、あるいは、ヴィゴツキー（Vigotsky）、バフティン（Bakhtin）の社会文化理論に依拠した社会文化的研究法（socio-cultural approach）、外国語学習自己選択と英語帝国主義論を内包した英語教育におけるパターンナリズ

ムの問題、英語教師研修・育成論、さらには、指導、評価あるいは「習熟度別学習」等に立ち現れる倫理的側面等、である。

本稿では、英語教育問題、英語教育学とは何か、それに英語学習目的論の3つを論じる。

1. 「英語教育問題」と英語教育学

我が国には「英語教育問題」があるとされる。例えば、戦後60年たち、世は小学校から大学に至るまで、90年代から始まった

CLT(communucative language teaching:コミュニケーション主眼の英語教育)花盛りである。さらに文科省は平成14年に『『英語が使える日本人』の育成のための戦略構想』をも打ち出した。他方昭和60年から始まり、今年で20年目を迎えるJETプログラムは、現在5000人以上のALT(外国人英語指指導助手)を任期つきとはいえほぼ教頭相当の給与を支給し全国の中学高校に配置し、英語教育の実効性を上げる努力をしてきた。それにもかかわらず、日本人の英語力は高まったという人はまずいない。それどころか、四ツ柳隆夫国専協会長の「一向に有効な手が打てない我が国の語学教育環境には何か問題が潜んでいる。その根本的な問題を調べて、対策を立てなければならない。」(全国高専英語教育学会通信第7号H15.1.9)に代表される「英語教育問題論者」は世に多い。鳥飼玖美子はこのような英語に関する日本人の心理状況を、「英語に関する限り、日本人は自虐的である」とさえ言っている(鳥飼、2002)。

他方、今学校現場の英語教師の置かれている状況は極めて悩ましい。少なくとも自らの高校、高専26年間の英語教師経験を振り返って演繹される。学校での仕事の多忙化は、授業計画(teaching plan)の準備を時間的にも質的にも矮小化させる一方、毎年微増する周辺の業務の時間は拡大し続け、その結果かつては学校文化にあった教師間の同僚性(collegiality)に基づく教授知識の伝達、創成は中心から脇に追いやられ、逆に書類、報告書作成等こそが「本務」であるかのように英語教師はひたすら効率的「業務処理」の遂行を余儀なくされている。そのような状況下において、英語科の教員は他の教科教員に比べ、教科領域業績向上を社会からより厳し

く求められている。初等・中等教育であれば、同じ指導要領に根拠を置く英語以外の教科・科目の中で、学習者の成績のみならず教員自身の英語力を測定し、向上させるための学校外部の数値評価(例えばTOEICやTOEFL等)を導入されたのは英語科以外にはない。平成15年からは英語教員のみが、身につけるべき英語力の目標値(英検準1級、TOEFL550点、TOEIC730点程度)を設定され、夏休みを中心に全国の中高英語教員対象に悉皆研修が行われ、今年が3年目となる。

英語教員は指導要領上の科目の中で唯一、自分たちだけが英語力証明数値目標が設定されたことへの不公平感も内に秘め、逆にそれを英語教育への社会の大きな期待であると読みかえて、さらには、そもそも1億2千5百万の日本人の英語習得到達目標が国によって普遍的に決定可能なのか、あるいは学校英語教育が戦後60年間に受容してきた様々な海外創成の教授法は日本の英語教室空間に根づき効果を上げたのか、学校という「場(フィールド)」に立つ教師はこれからも、新規で「科学的」根拠のある教授法や指導技術の開発をただ待ち続けるだけなのだろうか、といった様々なより本質的な問いを封印したまま、日々教室に立っているのが現状であろう。

英語教育問題の可否を議論することは本論の射程を超える。これには、歴史的視点から優れた分析をくわえている山田雄一郎の『日本の英語教育』等の他の研究に譲り、ここでは「英語教育問題」の存在を留保つきながらある程度認めた上で、教育現場に有効な知見を供給しえていない英語教育学の研究手法(メソドロジー)に焦点を当てることにする。「英語教育問題」の影に英語教育学研究法の問題が潜んでいるのではない。では次に英語教育学とはいかなる学問であるのかを、見てみよう。

2. 英語教育学とはなにか

「英語教育学」は日本で生まれた名称である。海外のTESL(Teaching English as a Second Language 第2言語としての英語教授法)、TESOL(Teaching English to Speakers of Other Languages 他言語話者への英語教授法)

あるいは、English Language Learning and Teaching 等、いずれにせよ、これらの概念が日本の「英語教育学」に相当するものと考えるのは、早計に過ぎるであろう。問題点は二つある。第一は、TESL、TESOL 共に、英米豪州加諸国の移民や留学生に英語力(第 2 言語)を習得させる要請に対応した英語教授法を考えるのが目的であり、我が国およびアジア諸国の様な外国語としての英語教授法を指向するものでは必ずしもないこと。第二は、英語という外国語技能の習得に力点が置かれ、学校教育の一環としての教科である、という視点が我が国の「英語教育学」にはあるものの、海外のそれには極めて薄いこと。あるいは意図的に教育学 (pedagogy) という物言いを避けている節すらあると考えられる。恐らく、この語が教授法に力点があり、教師の権力性を連想させるからだと思われる。

また「英語教育学は応用言語学 (applied linguistics) である」と断言する学者がいる。抜きがたい学問的伝統とはいえ、暗に教育の臨床の場との距離をとることを肯定したい意図があるためなのか、私には理由がよく分からない。少なくとも私の見る限り、海外の研究者はあくまでも言語学の周辺学問と捕らえ、学校教育との結びつきをほとんど意識しているわけではない (Cf. N. Schmitt, 2002) このような海外の研究者の知的枠組みをわが国の英語教育研究者が盲目的に受け入れ、英語教育学応用言語学説を唱えているとしたら、日本固有の教室という「場」でおこなわれる英語教育に貢献する知見の創成を期待するのは、本質的に困難となる。

他方、近年の主流の捉え方は applied sciences (応用諸科学) である。日本人研究者では、小笠原 (1991, p.29) に見られるように「外国語教育は心理学、文化人類学、社会学、大脳研究などからも支援を得る必要があるので、単に「Applied Linguistics ではなく、Applied Sciences である」とする見方が一般的だと思われる。なぜならば、近年発展著しい認知科学や脳研究の知見を全く無視して現在英語教育学を論ずることは、ほとんど不可能だからである。仮に、当の英語教育学研究者が祖先とする言語学にのみ顔を向けていようとしても、認知科学や脳科学研究者の側から L1、L2 への言及が

相次いでいる以上 (Takano, 1993; 相馬 1997; 植村 1997; 酒井 2002 等)、これらの知見を無視するのは、ダチョウが敵の姿を見て目を隠して敵を見ないようにしているのと同じことになる。

以上 3 つの立場から学問としての英語教育学を論じてきたが、ここから言えることは、英語教育学は学問として極めて曖昧だということである。無論、基調に平岡孝輔 (1931) や Fries (1945)、Lado (1964) の様な外国語教育の「科学化」を試行した研究者の道筋があり、現在の英語教育学研究の主流が「科学的」アプローチであることはある種の合理性に裏付けられているのは事実である。では次に、その「科学的」英語教育研究を見てみよう。

3. 科学的英語教育研究の制約

現在英語教育研究の主流は、科学的に量的データの統計分析を伴う計量心理学的実証研究である。量的データの統計分析 (2 元配置の分散分析や他変量解析等) を SPSS を始めとする統計ソフトにより容易に処理でき、量産も可能である。しかし、果たしてそのような英語教育研究は教室という臨床の場で英語を教える教師に役立ってきたのだろうか。そのような研究方法に依拠する英語教育学は、果たして学習者、人間に焦点を当てているのか。焦点化されているのは、数量化可能な英語学習者の「英語運用力 (パフォーマンス)」であって、学習者という人間、および学習者集団の相互性 (interactive relations) は学問的合理性のもとに捨象されてきたのではないか。

確かに、これらの研究によって明らかにされた学問的知見を臨床の場である学校、教室に導入し実施すれば、それはまさに科学と言えよう。しかし、物理、工学、天文学などのようないわゆる厳密科学 (hard science/exact science) のように、原理と理論を応用して人間を月に送り、再び地球に戻すように極めて高い確率で再現性のある結果が得られるほどには、英語教育学や第 2 言語習得論の研究結果が科学的というわけではない。

よく知られているように、科学や技術の研究や開発においては成功例 1 に対してその 10 倍の失敗例がある、とされる。東大の大堀俊夫助

教授（認知言語学類型論）が認知言語学のある講義の中で(2003. 12, 日本理論言語学研究所)、脳神経学の実験やバイオサイエンスの実験研究の成功率に触れて、「同僚研究者の話によれば、これらの分野の成功実験例の裏には 10 倍の失敗があると思ってよい」と語っていたのが思い出される。厳密科学でさえそうであるならば、教室空間が極めて多元的時空間であることと、生理的、社会的に刻々と変化する人間を対象に行う英語教育研究の実験研究の再現性が極めて低いことをも考え合わせると、科学的研究アプローチによる知見に留保をつけざるを得ないのは当然のこととなる。さらに、一般化(普遍化)への困難性も考え合わせると、この実験研究法は脳内で処理される言語と人間相互間のインターアクションから生まれる英語学習・教育の現実を対象とするには、極めて対応性が悪いといわざるを得ない。例えば、ゴルフをするのにテニスラケットでボールを打つようなものである。

他方、日常の実践、臨床の場では、先人の経験の蓄積に負うところが甚大である。すなわち、「実践（経験）知」である。理論は不明だが、こういう教え方をすれば効果も高く、習得も進む、という経験的教授法が教員個人と各学校に蓄えられている。また、逆に他の学校で効果があつたといわれる教授法でも全然効果が出ない場合もあるというのが、教室という「場」なのである。そのような中で、期待したような教育効果を示さない学習者を何とかして英語を習得させようと努力を重ねて、あるいは自分の英語力も含めた教授法を再検討することを通じて、実力のある英語教師になっていく側面もある。

学習者も教授者たる英語教師も生身の人間である。学習者の側に体質や遺伝的形質を含めた個体差があるのとまったく同様に、教師にも個体差がある。また、同一人であっても、昨日と今日とでは身体条件は異なり、さらに、神経系や内分泌系の機能の変化によっても学習効果は顕著に異なることは、実際に教えた経験のある者なら誰でも分かることであろう。したがって、同一の教授法、習得法を適用しても、その理論の反応体である被験者の身体的、精神的条件が異なれば、完全な再現性など期待できるはずの

ないことは明白なのである。すなわち、英語教育を科学（応用諸科学）と捕らえることは、普遍性、客観性を標榜したい研究者の合理性と正当性は満足されても、臨床の場には有効性が極めて限定されてしまうことになる。

しかも、「科学的英語教育研究」の多くが問題にするのは、実は学習者による英語力パフォーマンスであって、学習する人ではない。すなわち、本来は「75 点を取った A 君をみる」のであって、「A 君の取った 75 点を見る」のではない。英語学習者という人を見るはずなのが、いつしか英語の点数（パフォーマンス）を見ている。ちょうど医者が単に臓器を見て患者そのものを見ないように。「心臓病の A さんを診る」べき医者が、「A さんの心臓病を診る」のと同じだ。現在の英語教育の知の立ち位置には、大きな歪みが潜んでいるのではないか。すなわち、英語教育の 2 つの主体者である教師と学習者という人間に対する視点が中心となっているわけではない。学習者と教師、教師間および学習者間の関係性（社会性）と心理への眼差しに欠けているのである。

そうではなくて、教室内で生成消滅する相互的コミュニケーションこそが教室の社会、文化的現実を作っている、と考えるべきであろう。他方、問われるべきもう一つの側面は、研究者と実践者としての現場教師との英語教育学の知の創成、伝達がリニア・モデルである点である。専門家たる研究者の創成した知を、アマチュアたる現場教員に伝える、という一方向性のリニアモデルである。普遍性、科学性を追及することの危うさに加えて、英語教員自らが研究する者として自分固有の「場」から始まる自分の経験をリサーチすることの追及こそが、今求められるべきであろう。近年アクション・リサーチに注目が集まる所以もその辺りにあると考えられる。(佐野, 2000 ; 柳瀬, 2001)。

科学的メソドロジーへの代替案については、社会文化的研究法も含めた英語教育学メソドロジーの章で詳しく論じることになろう。

4 英語学習（教育）目的論

私が新採用教員の時、山梨県教委の M 英語指導主事がある教員研修会で、「なぜ(生徒は)英

語を学ばなければならないのでしょうかね。」と自問自答されたことがあった。自らだされた答えは「最終的に私自身が納得できた理由は、指導要領に記載されているから」というものだった。真摯で学究肌の M 指導主事が決して議論を惜しんだわけでも、奇をてらったわけでもない。教育行政官としての最終着地点としては合理性を持つ答えといえよう。しかし、学校で自ら英語学習を選択したわけではない中高生にとっては、まったく答えになっていない。それは問いの地点から 360 度回転して元の地点に帰着したに過ぎない。また、そのような学習者に毎日接し、指導やケアをしなければならない日本人英語教師にも木で鼻をくくった答えでしかない。いずれにせよ、この問題はそれ以来私の脳裏を離れたことはなく、その後また納得できた答えに出会うこともなかった。そうであるならば、自分自身でこの問題を解決するしかないことになる。

4. 1 当然視される英語学習目的

『英語教育現代キーワード事典』(1991)には第 I 章「本質論・目的論」に 46 ページを割きながら、結局その目的を示していないのは、実に驚くべきことだ。さらに、巻頭論文を飾る「日本の英語教育への私のメッセージ」(鈴木、pp. xxii-xxxiv)にいたっては、最初に「日本人にとって外国語、特に英語を学ぶ理由、必要性というもの」を述べると断っておきながら、(a)教科としての英語、(b)受信解読型英語教育、(c)教養主義語学を列記しコメントをつけるのみで、結局最後まで、なぜ我々が英語を学び、教えるのかには答えずじまいで終わっている。これは、どう考えるべきなのだろうか。学校とは、社会にまだ居場所を持たない人間が、自分の意思で必要な知識、技能を修得して何者か(someone/somebody)に変わろうとするのを支援する装置であろう。しかし、個々の学習者が英語に対してどういう立ち位置を取るかは、学校や教員が決めることではない。ましてや、国が決められることでもない。学習者と英語教師一人一人が自分で決定するしかない。ちょうど医療現場で医者が一人一人異なる患者に病名を告げ、治療法を説明し、納得してもらい、最良の治療法を患者自身に「自己決定」させるよう

に、学習者と英語教師が相互交渉(インターアクション)を通じて自分で決定するしかない。より詳しくは後の「英語教育におけるパターンリズム」の稿で論じるが、マイクロコスモスとしての英語教育学とマクロコスモスとしての国、文科省の無自覚的な英語教育前提論が「英語教員のヒポクラテス流パターンリズム」を生んでいると考えられる。(cf. 星野一正、『医療の倫理』、岩波新書 pp.69-112)

そこであらためて見直されるべきは、英語教育は教育だ、という視点であろう^(註4)。ではその時教育とは何かが問題となる。それは、まさに教育の目的を問うことに他ならない。

4. 2 教育の目的

毎年米国のシカゴ大学では、入学式の行事としてキャンパス中央にあるロックフェラー・チャペルで、学内の傑出した教官(distinguished service professor)が 1 時間半ほどのスピーチを行うのを伝統としている。テーマは毎回同じ。“Aims of Education(教育の目的)”。2003 年の入学式に第 40 回目のスピーチとして、社会学のアンドリュー・アボット(Andrew Abbott)教授が“The Zen of Education”と題してスピーチを行った(Abbot, 2003)。アボット教授は様々な教育の目的を紹介し、それら全てを論旨明快に否定した後で、次のように述べる。

And in that sense, the phrase “aims of education” is exactly backward. Education doesn't have aims. It is the aim of other things. This “education,” this flash of enlightenment, is the emergence of the habit of looking for new meanings, of seeking new connections, of investing experience with complexity or extension that makes it richer and longer, even though it remains anchored in some local bit of social space and time. Everything else we teach is an exercise to achieve that.

要約すれば、「教育の目的を問うこと自体が転倒なのだ。教育に目的はない。教育自体が蒙

が啓ける一瞬の喜びであり、新たな意味を探求する習慣化である。人はたとえ時空間として限定された今ここを生きるしかないとしても、その固有な一度きりの経験に、より豊かでより長続きする複雑さと拡大を与えるのが教育なのだ。教えるとは、それを達成するための訓練を与えるに過ぎない。」となろうか。

そしてスピーチの最後にアボットは、

There are no aims of education. The aim is education. If—and only if—you seek it...education will find you. Welcome to the University of Chicago.

「教育に目的はない。目的は教育そのもののものだ。諸君が捜し求めるならば、教育の方が君を見つけるだろう。シカゴ大学入学おめでとう。」

私は、これほど真摯に教育の目的を論じた言説に出会ったことがない。社会の不断に変化するニーズ（不足するものの意）に己の立ち位置を変え続けてきた観のある日本の英語教育学が、教育の一環としての臨床英語教育人間学にその立ち位置を変えようとするとき、傾聴すべき言説であろう。さらに興味深いことは、アボット教授ほとんど全く同じ趣旨のことを、我が国の 30 年以上前の教育者から聞くことが出来ることである。

かつて教育雑誌『教授工学』（第 6 集、1972 年、pp.48—56）で『何のための教育か』という特集テーマで多分野の識者から短文が集められた。その中で、村井実（慶応大教授）はこう述べている（以下佐伯、藤田、佐藤 1996 p.274 からの引用）。

「何のための教育か」という問いがありうること自体に、すでに「教育」ということばの混乱があると思う。私の考えでは、教育は「何のため」でもない。それは私たちにとっておのずから在るのであり、それ以外の何ものでもない。（pp.49-50）

村井の最初の文言はアボット教授のコピー（“the phrase ‘aims of education’ is exactly backward.”）かと思われるほどである。「教育それ自体に目的はない。教育そのものに価値があるのだ」とする点で二者の見解は全く一致する。すなわち、教育は実存的なのである。さらに、村井はかつて同書の著者の一人である佐伯胖にこう言ったという。

「他の多くの学問には、何らかの目的とか対象とかが他にあって、そのためにこういう研究をするという言い訳の上に成り立っている。ところが、教育は、それ自体を目的とした人間の営みであり、むしろ、あらゆる学問が（教育のために）何ができるかが問われるものなのだ。その意味では、教育はあらゆる学問の頂点にある。」

アボットも村井も主張は同じである。教育は他のなにかの目的や手段ではなく、それ自体が目的なのだ。教育としての英語教育を構想する時、基本にすえるべき示唆を与えているものと考ええる。

本稿の結論に変えて

英語教育学は欧米創成の学問である言語学の亜流、周辺学問であることから、改めて日本の学校教育を研究し支援する教育学の周辺学問に位相すべきである。ただし、ここでの位相すべき教育学は永らく教育学の中心を占めてきた西洋教育（思想）史ではなく、近年発展著しい「学校という場での教育研究」あるいは教育のエスノグラフィーやアクション・リサーチに近いものとなろう。英語教育学の臨床性を高め、結果的に実践的でもある新たな教育研究メソロジーが志向されるべきである。

注

（1）現在の日本の英語教育学批判研究では柳瀬陽介（広島大）のものが際立っている。しか

し、関東甲信越英語教育学会の紀要委員長である相澤一美（*Kate Bulletin News*, No.2, p.1, April 20, 2005）が、近年の研究が教室現場に役立つものとなっているのか疑わしい、とした上で「本学会の使命を考えた場合、授業実践と研究が両輪となって、よりよい授業が可能になるような研究論文を期待することは難しいでしょうか。」と学会員に問うているのは示唆的である。さらに、今年（2005）の関東甲信越英語教育学会の「問題別討論会」が「研究は授業に役立つか」というテーマを掲げたことも、現状の英語教育研究法に対して、学会内部でも有効性への疑問が台頭してきていることの表れであると考えられる。

（２）教育人間学とは何かについて、西平直東大助教授は『教育人間学のために』の中で次のように述べている。「教育人間学は、教育への一途な期待ではない。むしろ、教育という営みの限界を確認し、その営みの根拠のなさを確かめる。何が善いことなのか、何が子どものためになることなのか、議論の前提を掘り返してゆく。しかし、教育の否定ではない。まして告発ではない。そうではなくて、一度教育への素朴な期待から離れた後に、あらためて教育に出会い直す。そうした反転を秘めた仕掛けである。」（pp.246-247）としている。

（３）本稿および続稿で言う「臨床(clinic)」とは医学用語としての狭義の「病床に向かうこと」さらには「患者さんに直接関係すること」の近似としての、「学校教育における英語学習者と教授者に直接関係すること」の意味を基礎として、中村(1992)の言う「近代科学への反省のもとに、それが見落とし排除してきた諸側面を生かした知のあり方であり、学問の方法である。」（pp. 125-126）を内包したものとして使う。因みに臨床教育学の講義を我が国で始めて設置したのは京都大学教育学部で、1987（昭 62）年のことであった。モデルはドイツにあった。

（４）三浦孝、弘山貞夫、中嶋洋（編）『だから英語は教育なんだ』は英語授業を単なる技術ではなく、学習者を励まし、力づけることばの教育として英語を教えるメソッドを提案している。

引用文献

- Abbott, A. 2003. The Zen of Education. *The University of Chicago Magazine*, Vol.96, issue 1, pp. 46-49.
- Ellis, R., 1997. "SLA and Language Pedagogy," *Studies in Second Language Acquisition*, 19/1, pp.69-92.
- Fries, C.C., 1945. *Teaching and Learning English as a Foreign Language*, Ann Arbor; University of Michigan Press,
- 平岡孝輔 1931.『外国語の科学』教育科学社.
- 星野一正 1991.『医療の倫理』岩波書店.
- Lado, R. 1964. *Language Teaching: A Scientific Approach*, New York: McGraw-Hill,
- Long, M.H., 2002, "SLA research: Scope, goals, and future," 名古屋大学大学院国際開発研究科主催「第二言語習得理論とCALL教材の評価に関する公開講演会」ハンドアウト、pp.1-12.
- 村井実 1972.「なんのための教育か」『教授工学』第6集、pp.48-56.
- 中村雄二郎 1992.『臨床の知とは何か』岩波書店.
- 西平直 2005.『教育人間学のために』東京大学出版会.
- 小笠原林樹, 1991 2. 英語教育学,『英語教育現代キーワード事典』p.26-31. 増進堂.
- 佐伯胖、藤田英典、佐藤学(編) 1996.『学びあう共同体』東京大学出版会.
- 酒井邦嘉 2002.『言語の脳科学』中央公論新社.
- 佐野正之 2000.『アクション・リサーチのすすめ:新しい英語授業研究』大修館書店.
- Schmitt, N. 2002. *An Introduction to Applied Linguistics*
- 相馬芳明 1997.「音韻性(構音性)ループの神経基盤」『失語症研究』Vol.17, pp.149-154.
- 鈴木孝夫 1991.「日本の英語教育への私のメッセージ」『英語教育現代キーワード事典』pp.xxii-xxxiv. 増進堂.
- Takano, Y. & Noda, A. 1993. A temporary decline of thinking ability during foreign language processing. *Journal*

of Cross-Cultural Psychology, 24,
pp.445-462.

鳥飼玖美子, 2002. 『TOEFL・TOEIC と日本人の英語力』 講談社.

植村研一 1997. 『脳を守り活かす』 静岡新聞社.

柳瀬陽介 1995. 「「英語教育学」の閉塞について」『松村幹男先生退官記念・英語教育学研究』 pp.444-453. 溪水社.

—— 2001. 「アクション・リサーチの合理性について」『中国地区英語教育学会研究紀要』 No.31, pp.145-152.

(平成 17 年 6 月 23 日 受理)

環境リスク管理論とその価値前提

—技術者倫理教育を展望して—

川 北 晃 司*

Environmental Risk Managements and Their Value Assumptions —With the Prospects for Education of Engineering Ethics—

Koji KAWAKITA

The Precautionary Principle as understood by C. R. Sunstein is incoherent in many contexts. Risks are often on all sides of a social situation, and risk reduction itself produces risks. Regulation often gives rise to substitute risks, in the form of hazards that materialize, or are increased, as a result of regulation. But the Precautionary Principle, when construed as a kind of the maxmin principle, as a safety net against catastrophes, should complement cost-benefit analysis (CBA), and CBA is relevant to the autonomy and welfare of citizens. Risk assessments and risk managements are also essential to all technologies and commodities of today.

(Keywords : risk, the Precautionary Principle, cost-benefit analysis)

はじめに

人間とその社会,そして環境にとって「安全なものをつくる」ことが,技術者倫理の中心にあるように見える。全米プロフェッショナルエンジニア協会(NSPE)の倫理規定はその基本綱領の冒頭で,公衆の安全,健康,福利を最優先すると宣言している。^①日本の技術士倫理要綱も,「技術士は,公衆の安全,健康および福利の最優先を念頭に置き」という言葉から序文を始めている。しかし安全のためには,時代環境に応じて,それなりのコストがかかる。そしてコスト負担は一種のリスク負担,冒険でもある。安全は冒険によって裏打ちされている。^②以下は,おもに環境的安全のためのリスク管理はどうあるべきかを,予防原則と費用便益分析それぞれの特徴を明らかにするなかで論じ,最後に技術者倫理教育についても若干の提言をおこなう試みである。

1.安全・リスク・納得

ISO による「安全」の定義は「受け入れ不可能なリスクがないこと」(freedom from unacceptable risk)であった。リスクが残っていても,それが受け入れられれば安全とみなす。とい

うのも「ゼロリスク」は非現実的要求に違いないからである。ここでリスクとは「危害(harm)の発生する確率及び危害のひどさの組み合わせ」であり,危害とは「人体の受ける物理的障害若しくは健康障害若しくは環境の受ける害」を指す。そして「許容可能なリスク」とは「その時代の社会の価値観に基づく所与の状況下で受け入れられるリスク」と言い換えられている。^③つまり「社会の価値観」という間主観的判断が,安全性に関する最終審なのである。金沢工業大学の札幌順が言うように,現実問題としての“*How safe is safe enough?*”に対する答えは,「受容可能なリスクのレベルを,当事者(あるいは社会)がそのリスクを受け入れることで得られる利益やその他の制約条件を総合的に考慮し,主観的に設定せざるをえない」ということになるのである。^④

環境的安全のためにどのような「技術的制御」を求めるかという問題は,こうして,その地域・社会の人々がそれとどのように付き合っていくかという問題にかかわるので,それが,人々の手の届かないところで決まることに対しては,異議が唱えられやすくなる。社会から莫大な資金と資源

を調達して行われている科学技術研究は、どのような社会的責任を果たすべきかという、科学技術の公共性をめぐる問いでも、それはある。

京都女子大学の平川秀幸によれば、リスクとはそもそも、することもしないこともできる誰かの自由な行為に伴うものである。すなわち、その行為を実行するかどうかの選択の自由があるところで初めてリスクというものが成り立つ。このため、ある技術を実用化するかどうかの選択の自由を持つ行為者（たとえば専門家や企業、政策立案者）にとってはリスクであるものが、選択の自由が限られている人々（たとえば消費者）にとってはそうではなく、受動的に被る「危険」という意味合いが大きくなる。科学者や政策立案者はしばしば、一般の人々がバイオテクノロジーなど、リスクが懸念される新しい技術に否定的になるのは、科学技術を理解していないがゆえの、不合理な情緒的反応にすぎないと思う。しかしながら人々の否定的態度は、無知や単なる情緒的反応の表れではなく、目的や責任、信頼性に関する理性的判断の結果の場合も考えられる。その技術のリスクの評価や管理を行う組織は、十分な科学的能力や管理能力をもっていると信頼できるか、万が一、事故が起きたときに責任ある対応が取れるのか、未知のリスクを持つかもしれないものを、わざわざ新たに導入する理由は何か、その理由は単なる開発者の私的利益の追求に過ぎないのではないか、……人々にとって「リスク」に對置されるのは、便益だけでなく、責任能力の信頼性、目的の意義についての「納得」もあるのだ、と平川は結論づけている。⁶⁾ 公衆はたとえば GMO のリスクだけでなく、リスクを扱う組織・制度の「モラル・ハザード」のリスクも懸念しているわけである。⁶⁾

技術者のモラルには何が必要か。技術は社会を対象とする実験である（engineering as social experiment）という見方に立つ M. マーチンらは、新しい技術的成果は、否応なしに社会に変革をもたらすという事実にもとづき、新しい技術の導入はあたかも人間社会を対象（被験者）とする実験をしているようなものであると主張する。そこで、社会を実験台として技術をもち込む当事者である技術者は、「責任ある実験者（responsible experimenter）」として、(i)被験者としての公衆の安全に対して責任を負い、被験者がもつ「実験

に合意する権利」（いわゆるインフォームド・コンセント）を尊重すること、(ii) あらゆる技術的プロジェクトが実験的なものであることを認識し、副次的効果を予見し、可能な限りそれを監視すること、(iii) 技術的プロジェクトの結果に関して説明責任を負うこと、が必要であるとしている。⁷⁾

しかし技術的プロジェクトにおけるリスク解析と科学研究とは、いくつかちがいがあ。通常の科学研究では、確実な結果が出るまで十分に時間をかけようとするのに対し、技術的プロジェクトにおけるリスク解析では、政策決定は常に一定の期限内に行われるため、不確実であっても何らかの答えを出さねばならない。場合によっては、科学的に確実な結果が出るまで待っていては、結果的に対策が後手に回り、人の健康や自然環境に対して取り返しのつかない大きな被害を招きかねない。事実、環境問題の歴史は、日本の水俣病をはじめとして、そうした科学的確実性へのこだわり故にもたらされた悲劇に満ちている。その経験から発案され、各国の環境・公衆衛生政策や気候変動枠組み条約など国際条約の中に陰に陽に組み込まれてきたのが、科学的証拠が不十分であることを規制措置の実施を控える理由とすべきでないとする「予防原則」である。⁶⁾

2. 疑わしきは罰するか

リスク管理における意思決定の原則として、危険性に関する科学的知識の不確実性を重く見る「予防原則」（precautionary principle）を重視するか、それとも十分な確実性を持ち、広く合意された科学的証拠を要求する「健全な科学」（sound science）を重視するかという問題が存在する。⁶⁾ 確かに、リスク評価の結果やその基礎となる科学的データが、関係者の都合で恣意的に操作されてしまうような科学への政治的介入は避けられねばならない。しかし、リスクと比較考量される便益とは、誰にとっての便益なのか、リスクと引き換えにするほどの価値があるのかが公に問われ、とりわけ、リスクに曝される人々による合意を得なければならない場面が増えている。リスク管理に要するコストを誰がどれだけ負担すべきか、万が一被害が出たときには誰が責任を負うのかも、同じく重要な公共的問題である。リスク解析には、客観性や正確さなどの「科学的正当性」だけでなく、公正さや責任など「社会的正統性」も求めら

れているのである。⁽⁴⁰⁾

政策決定における科学性を過度に強調することには別の種類の危険もある。ある技術の利用に伴うリスクと便益の配分の衡平さなど、公共的な熟議(deliberation)を通じて解決すべきリスク解析の政治的イシューが、科学の客観性、価値中立性の名のもとに覆い隠され、ある集団の利害が守られる一方で他が犠牲にされるような偏りが、見過ごされたり助長されたりする危険がある、と平川秀幸は指摘する。⁽⁴¹⁾

少しでも疑わしいものは即やめろ……本当の意味での予防原則は、しかしながら、こんなに単純なものではなく、もっと難しいものでなくてはならない。⁽⁴²⁾「水俣病の教訓に学ぶ」と題する文章のなかで、独立行政法人・産業技術総合研究所化学物質リスク管理研究センター長の中西準子はつぎのように、環境ホルモンを引き合いに出して論じている。すなわち、環境ホルモンとは、外因性内分泌攪乱物質に対する日本でだけ通ずる呼び名であり、科学的にそれが人間や生物に与える影響はまだわからない。しかし、これまでの化学物質の毒性評価の中にはなかった視点であるから、この視点で化学物質を洗いざらい点検する国際協調体制ができてようやくそれが動き出したというのが、今の世界的な状況である。かつて環境庁は「内分泌攪乱物質を有すると疑われる化学物質」として67物質のリストをインターネットで発表した。これを受けて、多くの識者がテレビや、新聞、雑誌等で、「疑わしきは罰する」でなければいけない、だから、疑わしいものは使うのをやめるべきだという主張を展開した。そして、これこそが公害病や薬害の愚を繰り返さないための「予防原則」だと主張した。

しかし、と中西は言う。内分泌攪乱物質の例は、水俣病と比較するのは適当ではないが、水俣病の例からも、かくも幼稚な予防原則を導き出すことはできない。というのも水俣病は当初、伝染病と考えられた。やがて、工場廃水が疑われ、熊本大学研究班は、マンガンが原因であると発表、つぎはセレン、さらにタリウムと変わり、最後に水銀に到達した。伝染病と思われた時点で、隔離するのがよかったか、マンガンと発表された段階でマンガンの禁止に踏み切れば良かったのか、もしそのようなことをしていたら、水銀を追いつめるこ

とはずっと遅れてしまったに違いない。まずは、原因と結果の関係をもう少しはっきりさせることが必須である。それなしに対策ができるわけがない。では、疑わしいものがあるとき、どうすればいいのか。「禁止する」と「何もしない」という二分法的な考え方では、これからの環境問題には対処できない、その中間の道を選ぶべきだ、と中西は主張する。その中間の道とは、リスク評価をし、リスクの大きさとその物質を禁止したときの、別のリスクの大きさとを比較しながら対策を立てることである。リスク評価は予測だからいつまでたっても真に正確にはならない。その時点でできる最高のことをするしかない。その意味でリスク評価は不可能とか正確でないという批判は何の意味もない。なぜなら、リスク評価ができなければ、もっといい加減にその時の気分で為政者が適当に判断することになるからである。今までの日本の行政はそうだった、と中西は言っている。⁽⁴³⁾

では、水俣でもっと早く防ぐ方法はなかったか。それはあった、と中西は言う。水俣病と言わなくとも、排水が多くの変異を起こしていることについて、一定のはどめがかけられてしかるべきだった。きわめて限られた地域であれだけの被害が起きており、チッソ以外の汚染源がみつからないような状態で、チッソの工場内の調査ができないというのもおかしい。必ずしも原因物質を特定しなくても、排出源はわかった筈だ。実は、こういうことをやる体制（法的な整備）は今もない、と中西は心配するのである。⁽⁴⁴⁾

ところがまた逆に、「リスクの大きさを問題とせず、ただ危険だ、危険だとすますのが我が国の特徴だ」とも彼女は指摘する。こういう態度がなぜいけないか考えてみよう。それは、リスク削減の優先順位をつけることができず、大きなリスクが積み残しになってしまうため、リスク削減対策のための効率的な資源配分ができないため、目前のリスク削減のために別のリスクが増加することがあるため、特に、資源の浪費や環境破壊を促進してしまうため、また、総体として、今われわれが生きている時点でのリスクの状態が分からないことにより、現実にはリスクが削減されていても、ますます危険になっていると思いこみ、社会全体が不安症になってしまうため—それらのためである、と中西は論じるのである。⁽⁴⁵⁾

かくして、リスクには三種類の大きさが指摘されることになる。ひとつは科学的に詰めて得られたリスクの大きさ（科学的評価リスク）、次が、社会の意思決定で用いられるリスクの大きさ（意思決定のためのリスク）で、考え方の違いやデータの不確実性を考慮して、科学的評価リスクよりやや大きめに評価されることが多い。そして第三が、かなりの国民が抱く不安としてのリスクの大きさである。不安としてのリスクの大きさは、第一や第二に比べて、かなり大きくなるのが普通である。

したがって BSE のように、新しい現象が現れると多くの人々が不安に思い、不安としてのリスクの大きさがとてつもなく大きくなるのは、ある程度やむをえないことであるが、しかしこの差を縮める努力を怠って、不安としてのリスクの大きさをそのまま受容して、それを基に国の政策が決まるようになると、非常に無駄が多くなる。「今、テレビのニュースは毎日のように、イラク戦争やテロについて報道している。大量破壊兵器もテロも脅威であり、リスクであるが、そのリスクの大きさを正確に捉えようとする努力を放棄し、過大に評価してもいいのだという雰囲気が強くなれば、たとえ世界第一の強国の米国でも苦境に陥ることになるのではなからうか。ニュースを見るたびに、リスクの大きさをできるだけ正確に捉え、対処することの重要性を痛感する。」と彼女は述べているが、傾聴に値しよう。⁽¹⁶⁾

3. 予防原則の両義性と適用基準

なるほど、欧州環境庁による予防原則の報告書は、事例研究によって予防原則を軽視することがいかに有害で費用がかかるかについて述べている。しかし一方でそれはまた「過剰な予防もまた、費用がかかり、革新の機会を失い、科学への問いかけの道筋を失う」とも述べているのである。⁽¹⁷⁾

予防原則のひとつの弱点は具体的な運用ルールが曖昧な点である、と九州大学の吉岡斉は述べているが、⁽¹⁸⁾ 予防原則の定義からしてすでにじゅうぶん曖昧である。単なる「疑わしきは中止する」という論理に切りつめてしまわないことが肝要である、と平川秀幸も言う。⁽¹⁹⁾ ベルリン工科大学の永瀬ライマー桂子による、予防原則に関する以下の解説は、その点を踏まえたものと思われる。すなわち「予防原則は、環境や人体に将来与えるインパクトが深刻で取り返しがつかないものである

場合、害が科学的に完全に証明されるのを待たずに、リスク削減のための暫定的対策をとることを言う。その対策は環境や人体へのリスクばかりではなく、対策を実施する場合と実施しない場合の必要コストと、対策によって得られる便益を検討した上で立てられる。」⁽²⁰⁾

しかし、少し違う予防原則理解もある。それによると、予防原則は公共政策を決定するための一指針であり、それは、われわれ自身が人間や野生生物や一般環境を広く深刻に傷つけているとの認識に由来している、と見る点では同じだが、この予防原則に従えば、何かを傷つけると思われる脅威があれば、因果関係について科学的に不確実な点が残っていても、予防的な行動を取るべきである、とする。予防的取り組みは、害のことを配慮し、それを防ぐという倫理的思想に基づいている。それは、科学的不確実性と人間活動の影響全体を適切に評価しないと生態系の悪化にも、人の健康への害にもつながることを十分認識するところから来ている。予防原則は研究、技術革新、学際を横断した問題解決を奨励するものである。そして、人間活動の悪影響を考慮する指針として働き、子どもと大人、他の生物、および現在および未来世代の持続的生態系を保護するための枠組みを与えるものである。⁽²¹⁾

「予防原則」という言葉はドイツ語の「Vorsorgeprinzip」（前もって手当てしておくという原則）から来ており、起源は 70 年代のドイツ清浄大気環境政策に遡る。それ以来予防原則は数々の国際的宣言、条約、決議に盛り込まれ、またいくつかの国では食品の安全、水系の保護、土地利用提案、漁業管理、遺伝子組換え生物の環境放出などに関する政策決定に適用されてきた。予防原則の一つの定式化は 1992 年の国連環境計画交渉に参加した国々が作った、リオ宣言に見られる。いわく、「重大あるいは不可逆的な損傷の恐れがある場合には、完全なる科学的確実性が欠如していることをもって、環境悪化を防ぐ費用効果的な方策を先延ばしにする理由としてはならない」。

予防原則の統一適用基準の作成もすでに始まっている。2000 年 2 月、同原則の保護主義的濫用を避け、科学的評価に基づき、透明性と一貫性のある意思決定手続きを明確にすることを目的として、6 つの適用基準からなるガイドライン『予防

原則に関する欧州委員会通達』が発表された。その6つとは、1) 選択された保護水準に見合うものであること(均衡性)、2) 適用が非差別的であること(非差別性)、3) 既存の措置と整合的であること(整合性)、4) 行動する場合と行動しない場合とで、期待できる便益とコストを検討すること(費用便益分析)、5) 新しい科学的データに照らして措置を再検討すること(再検討)、6) より包括的なリスク評価に必要な科学的証拠を提出する責任を、場合に依じて適当な関係者に課すること(立証責任)、以上である。⁽²²⁾

4. 費用便益分析の価値と限界

費用便益分析は、もともとは政策の費用と便益とをすべて貨幣額で数量化して、便益が費用を上回るかどうかを基準にして政策の適否を判定しようとする経済学の道具である。これを環境政策に適用することに対して、1960年代以来根強い批判があった。貨幣で幸福を買うことはできないとか、人の生命を売り買いすることは不道德だといった、費用便益分析を拒否する素朴な根拠からして、絶対的損失が存在して、それは貨幣的には計測不可能だと指摘された。

利益と引き替えにすすんで手放してもよいと思う金額を、支払意思額、あるいはWTP(willingness to pay)と呼ぶ。そして損失をすすんで受け入れさせるに必要な補償金額を、受け入れ補償額、あるいはWTA(willingness to accept)と呼ぶ。確定的な死亡を伴ういかなる事業も、費用便益分析によって効率的とは見なされない。まさに絶対的損失に他ならない。しかし、分析の対象とすべき事業—新たな開発とか新規化学物質の許可とか—では、特定個人の確定的な死亡を考える必要はない。そうした事業のひょっとしてもたらしうる害悪は、社会のある集団の中での事故の発生率とか、疾病の罹患率とか、死亡率とかがいくらか上昇するという形で捉えられるのみであろう。死亡率の上昇によって犠牲になるものを、確定的な生命と区別して、確率的生命(statistical life)と呼ぶ。

こうした事前の誰に当たるかわからない害悪の発生確率が「リスク」である。リスクの微小な増加を補償する貨幣額というものは、意味のある有限の大きさとして考えることができる。逆にそうした発生確率の微小な減少に対して、人はある有限の金額をすすんで払おうとするであろう。概念

の確立はやがて実際の計測へと結びついた。労働に関わるリスクと賃金との相関から、リスク増加のWTAを推定する研究が、米国とイギリスを中心として行われた。推定されたWTAをリスク増加分で割った値は「確率的生命の価値」(VSL: value of a statistical life)と呼ばれるに至った。

VSLは労働市場を用いる方法以外のやり方を用いても推定された。これは、仮想評価法あるいはCVM(contingent valuation method)と呼ばれるが、リスクを減らす仮想的な状況を設定して、そのようなリスク削減を実現するのと引き替えに個人が払ってもよいと思う金額を、アンケートやインタビューによって直接聴き出すやりかたである。最近の日本のVSLとしては2000万円～2億円という値が報告されている。⁽²³⁾

この有限の概数値にどれほどの意味があるのかは疑問である。しかし、生命の尊さが不可侵であるという主張は一見自明なようだが、たとえば「癌に罹らないことは人間の絶対的な権利であり、癌の発生を抑えるためにコストを度外視してあらゆる手立てが講じられねばならない」というような主張がそこに含まれているとすると、北海道大学の石原孝二の言う通り、議論の余地のある主張であることになる。⁽²⁴⁾ また、リスク削減の便益を貨幣価値で表すことはせずに、一定のリスク削減にかかる費用のみを比較する費用効果分析という手法ならば、「命の貨幣価値」という倫理的に問題のある概念を用いることなく、設定されたリスク削減目標を達成するのに、費用が最もかからない選択肢を選ぶことが可能である。⁽²⁵⁾

リスク解析の専門用語として「エンドポイント(回避目標)」という用語が用いられる。発癌リスクのエンドポイントは「癌」である。また多種類のリスクを比較したり加算したりすることによって総合的なリスク管理を行うために、「人の死」をエンドポイントとして、曝露による人の寿命の短縮率を表す「損失余命」が共通の定量的指標に用いられることもある。

いかに予防原則といえども、健康へのあらゆるリスクについて行動を起こせと言えるはずはない。重大なリスクに対して行動を起こすのである。そして、リスクが重大かどうかを知るためには、量的分析が必要である。そしてあるリスク水準を確保するのにかかる費用を知ることでもある。

そして、それらの量的情報が、リスク削減便益ほど信頼性が低くないとしたら、費用効果分析を行うというのは、予防原則からの自然の帰結である、そう福井県立大学の岡敏弘も述べている。⁽²⁶⁾

以下ではおもに *Ethics* 誌 2005 年 1 月号に掲載のサンスティン論文 “Cost-Benefit Analysis and Environment” を参考に論じることにしてしよう。⁽²⁷⁾

米国では費用便益分析（以下、CBA と略記）が重んじられており、ここ二十年以上、大統領は行政機関に対して、主要な規制にあたっては CBA を実施するよう求めてきた。規制による便益がその費用を正当化できる場合にのみ、規制を行わせようとしてきた。議会も CBA に大きな関心を示しており、連邦裁判所に至っては、必要なら議会のかわりに行政機関が独自にコストを計算し、また規制によって生じる新たな代替リスクを考慮に入れるべきだと励ましてさえいる。そして、瑣末なリスクにまで政府が規制を及ぼしてくるのを防ぐべきだと論じている。

その点で欧州は対照的である。環境保護のための原理として欧州が強い関心を示しているのは、予防原則である。CBA と予防原則との間の緊張のせいで、環境保護の理論と実践の両面で深刻な対立が生まれている。費用便益分析を行うためには、可能な規制諸戦略のそれぞれについて、可能な諸影響を計算するという、困難で投機的な判断が必要になる。費用の算出に関する経験的困難としては、環境保護規制のおかげで技術革新に拍車がかかり、汚染削減にかかる費用が大きく減ったりする事例などが挙げられる。そして便益の算出はもっと難しい。死亡率と疾病率の減少、休養、美観、動物福祉、財産価値、これらの維持・改善・向上などが、少なくとも考慮されねばならない。

それら諸便益を考慮するとして、費用効果分析のために各選択肢を数値評価するためには、換算という作業がどうしても必要になる。しかし、人間の生命や健康や環境汚染を何に換算すべきか。米国行政当局の多くがとりあえず採用している方法論、それは、個々人のあの WTP（支払意思）という概念を利用することである。

CBA ができたと仮定して、つぎに行うべきことは何か。便益が費用を上回るような規制のみを採用候補とし、もし複数の候補があれば、純益が最大になるような規制を選んで実施する。これが一

番単純な処方箋である。しかし、これが最善の処方箋とは即断できない。CBA の結果は大いに参考の材料にするが、「公正さ」をも重視する、という方針も検討可能なはずだからである。たとえばチャンスと負担が、一部の人々に偏ることの少ない規制を倫理的に選好することもできよう。そもそも、環境リスクから人々を守るための指標として、WTP を用いること自体には限界がある。絶滅危惧種、自然、野生生物を保護する政策の基礎として WTP を使用するのも、限界がある。

しかし、予防原則には予防原則で、難しい問題を抱えている。予防措置をどれだけ施せば、正しいレベルの予防になるのか。予防のコストのことをどう考えるのか。人類が生きていくのにリスクはつきものであり、ひとつのリスクを下げる努力が、もうひとつのリスクを上げてしまうこともある。⁽²⁸⁾ すべてのリスクを同時に下げることとはできないとすれば、優先順位を設定する他ないだろうが、それをどのように行うべきなのか。ここで CBA に明確な答えを期待してはいけませんが、どのリスクが重大で、どのリスクはそうでないのか、判断する手助けにはなるだろう。

CBA が万全でないことも、前述の通りである。人間はたんなる経済的消費者ではなく、アリストテレスのいう政治的（共同体的）動物でもあった。消費者としての WTP のみにもとづく環境保護政策は、然るべき政治的プロセスの議論を安易に捨象してしまっている。そして WTP は支払能力に依存してしまう面をもつ。環境保護政策が最貧層の利益になるようならば、WTP がたとえ低くても保護政策を採用すべきではないか。こうした政治的判断の展開も十分予測できた。また、環境へのリスク計算の際には確率計算が不可欠だが、その確率自体あやふやすぎる場合があるという問題もあった。そうした場合、いわゆるマキシミン原理、すなわち、最悪ケースのシナリオを避けるという原理の説得力が、増してくるようになる。そしてこれは予防原則の考え方に近い。したがって、予防原則は CBA を補完する貴重な役割を演じることができるものとして評価可能であろう。

人の死をまでも金銭価値に換算する CBA は、倫理的鈍感さの産物のように見られてきた。また民主主義というものは、プライベートな個人消費選好を集計することではなく、公民による熟議に

もとづく判断を尊重することにあり、その点、予防原則は世代内および世代間での公正さに与しやすく、より民主主義的であると言われてきた。⁽²⁹⁾

しかし、統計的リスクの市場的価値付けにもとづく CBA 政策にも、倫理的に侮れない意味がある。すなわち、個人の厚生 (welfare) と自律 (autonomy) という倫理的価値を尊重する、という意味があるとサンステインは言う。10 万分の 1 の致死リスクを削減するために 60 ドルなら支払うが、それ以上は拒否する考えの人がいるとしよう。それだけのリスク削減のための規制導入に 60 ドル支払うよう彼 (女) に頼むのは、彼 (女) の厚生を増すであろうが、60 ドルより高く支払わせるのは、むしろ厚生を損なう、との見方が可能である。予算には限りがあり、需要は数多い。10 万分の 1 のリスク削減に 60 ドルより高く支払うのを拒む理由としては、その予算を食や住、娯楽、教育、その他の財のために当てることもできるから、等の理由が考えられる。規制は強制交換として機能しうるし、人々が嫌う条件での強制交換は、人々の厚生を損なうものと推察される。

しかし、たとえば 60 ドルより高くつく規制を拒否する背景として、貧しさということも、大いにありうる。もし家計が豊かでさえあったならば、あるいは 120 ドルでも支払う気になっているかもしれない。では、WTP は尊重に値しない尺度である、と結論づけるべきだろうか。いや、60 ドルではなく 120 ドルを貧困層に事実上強制することが好ましい、などと言えるはずはない。絶対的貧困と相対的剥奪の軽減もまた、現代社会の民意であろう。よって、税金と補助金などの社会的再分配制度は不可欠であるが、それが失業の増加や物価の上昇となって、結局は一番弱い階層にそのしわ寄せが行くことのないように、ここでも CBA 的検討の必要がある、とは言えるだろう。

WTP に対しては、いわゆる人権論からする反対論は強力である。WTP の如何にかかわらず、ひとはあるレベル以上のリスクにはさらされない権利がある、とそれは主張する。たとえば、ある貧困地域では人々は水の汚染のため毎年 20 分の 1 の致死リスクを抱えているとする。その場合、人々のリスク除去のための WTP はわずか 1 ドルで、一人当たりの費用が 5 ドルかかるとしても、政府はそのリスク削減を図る義務があると信じら

れよう。またさらに、WTP の如何にかかわらず、ひとは危害を意図的に、あるいは不注意のせいで、蒙ることがない、という権利があってよいだろう。そして政府が人々の WTP が低いことを理由にして、深刻なリスクの放置を正当化するとしたら、全く不当だと考えられよう。

したがって、環境保護政策としての諸規制にあつては、WTP が安全に利用できるのは、そうした人権が侵害されない場合、および、たとえ故意や不注意により小さなリスクを蒙ることで権利が侵害されたとしても、十分な情報と補償を与えられてその権利を放棄することが許されるべき場合に限られるであろう。

規制政策を選ぶ際には諸個人の WTP および、それとは独立な諸権利に敬意を払うべきであるとして、そのような権利には、さらに審議権が含まれるべきであるとも思われる。というのも、米国をはじめとする憲法システムは熟議制民主主義 (deliberative democracy) であつて、もともと多くの社会的判断にあたつては、一般市民間での熟慮に基づく議論が必要とされているはずだからである。たとえば絶滅危惧種の個体群を保護すべきかどうか、もし保護すべきとしてもいつすべきか、それは価値に関して審議する民主的議論を通して解決されるべき道徳的問いであつて、消費者としての個人的選択を集計することによって解決されるべき問いではないであろう。そしてもちろん、もし WTP が、注意不足や情報不足や熟慮不足の産物である場合には、その政策利用には反対せねばならない。そして人々がそうした事実注意到改善してくれるよう、政府の役人はむしろ勧告すべき立場にあるが、ただしこのことは WTP 一般の否定を意味していないのは明らかである。

しかし WTP にはさらに難点があつた。貧困状態を含めて、現状における諸限界に人々の選好は適応してしまう。これを「適応的選好」(adaptive preferences) という。この場合も、WTP を真の選好とは見なし難い。悪しき生活環境に馴らされた人々は、それゆえ、環境財のために低い WTP ししか示さない恐れがある。そうした場合、WTP は正当化根拠の多くを失う。なぜなら、WTP は人々の厚生に寄与し、自律にもとづくという前提で採用された基準であつたのに、その前提が今や危ういからである。すなわち、人々の意思決定 (WTP

としての) 自身が、自己欺瞞(miswanting)の要素を多分に含んだ、悪しき生活環境依存的で、したがって他律的なものであると見なされうるからである。⁽⁵⁰⁾ ここで、自律という観念は(カント倫理学の場合はまた解釈が違ふが)、自己の選好にもとづいて自分を律するというだけではなく、自己の選好それ自身が、強制や不正義を反映しない形で形成できるような、そのような社会条件を要求するものとして解釈されていることに注意できよう。

したがって、大いに有益な財であることが明らかなのに、人々がその購入を嫌うことが判明している場合には、政府はたぶん WTP を放棄すべきであろう。しかし、そのような場合の見きわめが大切になる。ある程度以上、情報が行き届いており、しかも豊かな社会にあつては、WTP を無視することは不合理かつ反倫理的であろう。それは政府による規制の押し付けになるからである。

言い換えると、著しい社会的経済的格差がある場合は、政府による規制が正当化しやすくなる。一例を考案してみる。飲み水の水質規制によって、5 万分の 1 のリスクが減らせるとしよう。そのためなら 80 ドル支払ってもよいと受益者は考えているが、1 人当たりのコストは 100 ドルかかり、しかも受益者は実際 70 ドルしか負担しないとしよう。規制を実施した場合、残りの一人 30 ドル分のコストは受益者以外が負担せねばならない。それは飲み水を供給する会社自身か、あるいは、会社員の減給もしくは減員によって埋め合わされるのかもしれない。この例のような場合、規制のコストは WTP 換算の利益を上回るもので、非効率である。しかし、もし受益者が非常に貧しく、非受益者が非常に裕福な場合は、効率よりも社会的公正を重視することで、この規制を正当化することも可能なはずである。こうした判断はしかし、実際のところ微妙な判断にならざるをえない。規制による受益がほんのわずかであるような規制は、社会的公正よりも社会的効率、CBA の見地から、見送られてよいとの判断も成立しうるからである。

また CBA は、人々との直観的リスク感覚の誤りを適切に修正しようとするという点でも評価されてきた。人の命まで経済価値に換算する試みは道徳的議論を呼んで当然である。しかし CBA によってより賢明な優先順位設定が行えると主張する点では、たしかに CBA は魅力的に写る。しか

し、リスク感覚の誤りについては、それを「誤り」と呼ぶのはためらわれるリスク感覚についても指摘されてきた。すなわち、普通の人々と専門家では、リスク判断に違いがあるが、それは普通の人々が愚昧だからではなくて、リスク評価に関して専門家とは別の準拠枠をもっているがゆえの違いである、との見方がある。専門家は推定死亡者数に焦点を当てることが多いが、普通の人々は、新奇な、制御不能な、非自発的な、回復不能な、不平等分配的な、人工的な、ないし破滅的な、といった特徴のあるリスクに対して、とりわけ回避的に反応する傾向が知られている。こうした傾向を「誤り」と断定しないのであれば、多様なリスクに対する多様な評価が、環境規制政策において一定の役割を演ずるべきである。CBA は量的に同一のリスクの間での質的差異を無視する、という非難があるが、それはこのことと関係している。

結局、最悪の事態のことを考えれば、われわれは予防原則を採用すべきなのであろうか。最悪のケースが極端に悪い場合には、それを念頭においた備えをすることこそが、たとえ結果的にそれが無駄遣いに終わるとしても、望ましい、そう考えられてもおかしくはない。無駄遣いは望ましくはないが、それでも破滅よりは余程好ましいからである。国民の感情は自らと子孫を守るために、そうした過剰投資(overinvestment)を受け入れるであろう。実際、冷戦期の軍事支出にしても、テロリズムに対する備えにしても、少なくとも米国の国民感情はそそうした過剰投資を支持してきたという事実が存在している。⁽⁵¹⁾

確率計算不能なカストロフ的リスクに市民がさらされている場合、規制者がなすべきことは、最悪のシナリオを同定し、それを避ける手立てを講じること、すなわち、いわゆるマキシミン(maximin)原理に従うことであつてもおかしくない。マキシミン原理は予防原則よりずっと限定的な原理であるが、環境保護のために一役買うことができる。しかし適用に当たっては少なくとも三つの条件がつけられてよいだろう。まず第一に、社会的リスクの一部ではなく全般を視野に入れるべきである。ひとつの破滅的リスクを避けようとする自体が、別のよりいっそう大きな破滅的リスクを生むことがあつてはならない(整合性)。第二に、原理の実際的応用にあつては、費用効

果(cost-effectiveness)を考えて、目的達成の効率性を向上させるべきである(効率性)。第三に、社会的公正の実現を図るべきである。負担能力が低い層に極端に重い負担がかからないよう、原理を適用しなければならない(公正性)。地球温暖化に関して言えば、豊かな国々に大きな原因がある問題の解決のために、貧しい国々が大きな負担を強いられることがあってはならないだろう。

5.まとめ

予防というアイデアは注意しないと、安全という価値を最優先することによって逆説的に、小さかったり存在しなかったりするリスクに対する過剰なコントロールにつながる危険もあり、リスク削減それ自体が、いくつかのリスクを生む。規制それ自身がしばしば新しい危険因子をもたらすゆえに、予防原則はCBAによって補完されねばならない。片やCBAに準拠したリスク管理論の立場から見た場合、マキシミン原理として解釈し直された予防原則は決して排斥すべきものではなく、カタストロフィーと定量的評価の誤りやすさに対するセイフティーネットとしての意味をもちうる。確率と帰結が一定範囲内に収まることが予測可能な多くの場合には、CBAに強みがある。破滅的な帰結の恐れが実際にあり、とはいえ未来が全く不確実な状況下で判断を強いられる場合には、マキシミン原理に単純にしたがうことが理にかなっている。そのような状況下でも、しかしながら、コスト感覚および公正感覚は不要にはならない。金銭的価値換算については、専らWTPをもとに規制を考えてよいときと、そうでないときとがある。前者はたとえば、受益者と負担者が一致している場合であり、自律と厚生という価値を尊重できる場合である。後者は、WTPは低くても、またCBAの結果がマイナスの場合でも、社会的公正という価値のために、規制が正当化される場合である。

6.技術者倫理教育を展望して

安全性は技術者が独り決めてよいことではなくて、本来はステークホルダーとしての公衆からなる社会の納得をえる必要があることを、事例を通じて説明するのが望ましいだろう。その点で、中西準子の「幸運な技術と不幸な技術」と題された文章は啓発的である。⁽⁹²⁾すなわち彼女によれば、われわれの周囲にはリスク不安が大きくて、その利用が極度に制限されている技術がある一方で、

リスク不安がささやかれながら、そのリスクに配慮することもなく、ただ新しい技術を売り込めばよいという姿勢で売り出され、受け入れられている技術がある。前者の代表的なものは、原子力と遺伝子組み換え作物、そしてナノテクノロジーもその仲間に入るかもしれない。後者の典型が、携帯電話やユビキタスコンピューティングと言ってもいい。技術者や研究者は、新しい技術、良い技術を生み出せば、それが使われ、人々に福祉や喜びをもたらすと考えて、それにのみ邁進しがちだが、実は、このリスク問題を解決しなければその技術は利用されない。もちろん、車は、携帯は、ユビキタスコンピューティングはどうなっているのか、という反論はある。しかし、市民はこれらの商品の魅力が大きいため、リスクには今は言及しない、考えないことにしているだけであって、もう少し落ち着けば、問題は過去の分まで含めて出てくるのである、と中西は言う。

彼女は続ける。いくつかの新技术がおかれている状況からみて、このリスク問題は特別な技術だけの問題ではなく、すべての技術や物質にとって避けることのできない共通の問題であり、技術の行方を左右する決定的な課題である。だから、技術の研究とそのリスク研究とは、常にセットで行われなければならない。そして、リスク評価結果と新しい技術はセットで世に出さなければならないのに、研究者や事業者は、いつもリスクの方は忘れ、とにかく新しい技術は素晴らしいと言って世に出してしまう。そして、リスクが問題になるとはじめて、リスク評価の研究にとりかかるのだが、その時は大抵手遅れで、時間がかかればかかるほど皆のリスク不安が大きくなってしまう。そして、リスクよりもリスク不安という問題と格闘しなければならないのである。リスクに対応することの他に、リスク不安に対処するという考えが必要になる。それに対する処方箋は先手必勝しかない。つまり、できるだけ早くリスク情報を出すことである。それでも、リスク問題を単なる不幸、巡り合わせが悪かったとしか考えず、なぜ原子力だけが攻撃されるのか(不幸な技術)、車のリスクがより大きいのか(幸運な技術)、なぜ塩ビだけ悪く言われるのか(不幸な技術)、言っただけで嘆いている。しかし、それは違うということに、そろそろ気づくべきである、と。

要するに、リスク問題はすべての科学技術のなかで、その一部として常に対処しなければならぬ問題であり、リスク評価とリスク管理はすべての技術や商品の問題である。技術や科学、商品開発に携わる人はこのことを忘れないでほしい、という彼女の言葉は、技術者倫理教育のなかで強調に値するものと思われる。本稿の冒頭で記したように「安全なものづくり」のための冒険が技術者倫理のポイントだからである。

注

- (1) 札野順『技術者倫理』放送大学, 2004 年, p.362
- (2) そして技術者には「最低限のルールを遵守するという受動的, 消極的な倫理だけではなく, 安全性に配慮したよりよい行動を考え, 行なっていく能動的, 積極的な倫理が求められる」(岩崎豪人「安全性とリスクの倫理」『工学倫理の諸相』ナカニシヤ出版, 2005 年, p.56) わけである。
- (3) ISO/IEC GUIDE 51.
- (4) 札野順, 前掲書, p.229
- (5) 平川秀幸「5 章 リスクの政治学」小林傳司編『公共のための科学技術』玉川大学出版部, 2002 年, pp.132-133
- (6) 平川秀幸「遺伝子組換作物規制における欧州の事前警戒原則の経験」『環境ホルモン』Vol.3, 藤原書店, 2003 年, p.113
- (7) Mike Martin・R. Schinzing, *Ethics in Engineering*, 3rd ed., McGraw-Hill, 1996
- (8) 平川秀幸「5 章 リスクの政治学」小林傳司編『公共のための科学技術』玉川大学出版部, 2002 年, p.112
- (9) 前掲書, p.119
- (10) 前掲書, p.111
- (11) 前掲書, p.109
- (12) 中西準子『環境リスク学』日本評論社, 2004 年, p.191
- (13) 前掲書, pp.159-164
- (14) 前掲書, pp.192-193
- (15) 前掲書, pp.16-17
- (16) 前掲書, pp.185-186
- (17) 原田正純「水俣病における安全性の考え方」『環境ホルモン』Vol.3, 藤原書店, 2003 年, p.41
- (18) 吉岡 斉「原子力政策と予防原則」『環境ホルモン』Vol.3, 藤原書店, 2003 年, p.59
- (19) 平川秀幸「遺伝子組換作物規制における欧州の事前警戒原則の経験」『環境ホルモン』Vol.3, 藤原書店, 2003 年, p.116
- (20) 永瀬ライマー桂子「電磁界基準値の設定をめぐる科学・思想・政治」『環境ホルモン』Vol.3, 藤原書店, 2003 年 p.83
- (21) テッド・シェトラ「予防原則—子どもの健康保護を越えて」『環境ホルモン』Vol.3, 藤原書店, 2003 年, pp.121-122, 134
- (22) 平川秀幸, 前掲書, pp.107-108
- (23) 岡 敏弘「環境リスク管理と経済分析」『思想』岩波書店, 2004 年 7 月, pp.43-45
- (24) 石原孝二「リスク分析と社会」『思想』岩波書店, 2004 年 7 月, p.86
- (25) 前掲書, p.90
- (26) 岡 敏弘, 前掲書, p.55
- (27) Cass R. Sunstein, “Cost-Benefit Analysis and Environment” *Ethics* 115, January 2005, pp.351-385
本論分はたいへん有益であるが, 予防原則を矮小化して紹介している点に難点がある。
- (28) リスク予防のための規制それ自体が代替リスク(substitute risk)をしばしば生む。例えば DDT. DDT 使用は鳥や人間へのリスクが判明したせいで今では禁止ないし規制されているが, 貧しい国々では DDT はマラリア対策の最も効率的な手段であり, その規制は, 健康被害の予防に背馳する面がある。DDT については, 中西準子の前掲書 pp.196-198 参照。
- (29) Ackerman and Heinzerling, *Priceless: On Knowing the Price of Everything and the Value of Nothing*, New Press, 2003, p.234
- (30) Cass R. Sunstein, *op.cit.*, p.374
- (31) Ackerman and Heinzerling, *op.cit.*, p.227.
ところが, 国民感情は別のリスク例ではまた異なる反応を見せている。フィンランド国民は携帯電話使用者率が世界一高いにもかかわらず, 同国では携帯電話への恐怖はまったく高まりを見せなかった。ノキアがかの国最大の企業である, という事実が, それに関係しているはずである。
- (32) 中西準子, 『環境リスク学』, 日本評論社, 2004 年, pp.241-245

(平成 17 年 6 月 23 日 受理)

Si を用いて試作した温度センサーの熱処理による影響

柚 賀 正 光*

Influence of heat treatment on thermo-sensor with the Si built as trial.

Masamitsu YUGA

Various sensor are known with the thermo-sensor by the temperature range that it is measured. Measurement by the color is used at the high temperature over 1000°C, and thermocouple which was used for seebeck effect is being used in the range of 1000°C from 500°C. In the range of about 300°C from the room temperature that is a general measurement range, thermistor which is a kind of the semiconductor sensor is usually used well.

Thermistor response is early and moreover cheap. However, when thermistor was left for a long time in the high temperature beyond the measurement range, relations between temperature and the resistance stop showing the straight line of the theory. This tendency is remarkable in low temperature.

In this paper, thermo-sensor was actually manufactured as an experiment by using silicon, and this characteristic of the relations between resistance and temperature were measured. A thermo-sensor was divided into the sample which heat treatment was done and it doesn't do. In addition, many samples which temperature and time of the heat treatment changed were prepared.

It confirmed that the deviation of the straight line in the part of the low temperature spreads out as much as the time of the heat treatment became long. And then, when the temperature of the heat treatment was increased, it was proved that this tendency became remarkable, too. At this temperature range, the value of thermistor constant B became smaller than the theoretical value calculated from the band gap of silicon. But, in all the samples, the value of theoretical B was maintained on the high temperature side. From this result, impurities a little diffused to the inside of the silicon by the heat treatment, and it guessed that an impurities level formed in energy gap.

(Keywords : thermo-sensor, thermistor, heat treatment)

1. はじめに

温度センサーは、測定する温度範囲により非常に幅が広い。1000°Cを超える範囲では、光の色を用いて計測する光高温計⁽¹⁾があり、500°Cから1000°Cを超える範囲では熱電対が用いられる。しかし、通常の数百°Cまでの領域では、半導体センサーがよく用いられている。

半導体センサーの中でも、PN 接合温度計や、焦電効果によるものがあるが、サーミスタは作製方法が簡単で反応速度も速く、したがって安価であり、特に良く用いられている⁽²⁾。しかし、理論的に導かれる式による特性が、使用状況によって変化する場合も考えられる。

通常のサーミスタの使用範囲は、室温付近から300°C程度が適切であるが、たとえば、一旦もっと高温の場所に置いてから測定するとどうなるか

は良く知られていない。

本報告では、シリコンを用いて実際に温度センサーを試作し、試作した試料を高温で熱処理した後、それより低温の範囲で、抵抗と温度の関係がどうなるかを測定した。一般に半導体は高温になると抵抗が減少するが、温度と抵抗値には、理論的な関係がある。熱処理の温度と時間により、その関係はどのようになるか、また、それはなぜなのか検討することを目的とした。

2. 理論

温度センサーを流れる電流は、半導体中の電子密度 n [cm³] とホール密度 p [cm³] に関係する。 n と p は式(1) 及び(2)のようになる。

$$n = N_c \exp\{-(E_c - E_F)/kT\} \quad (1)$$

$$p = N_v \exp\{-(E_F - E_V)/kT\} \quad (2)$$

ここで

N_c	伝導帯の実効状態密度[cm ⁻³]
N_v	価電子帯の実効状態密度[cm ⁻³]
E_c	伝導帯の下端のエネルギー準位[eV]
E_v	価電子帯の上端のエネルギー準位[eV]
E_F	フェルミエネルギー [eV]
T	絶対温度 [K]
k	ボルツマン定数 [J/K]

である。

p と n の積は真性キャリア密度 n_i [cm⁻³] の 2 乗に等しい。したがって、

$$n_i = (N_c N_v)^{1/2} \exp(-(E_c - E_v)/2kT) \quad (3)$$

ここで、 $E_c - E_v$ は、半導体のバンドギャップになるので、それを E_g [eV] と置くと、

$$n_i = (N_c N_v)^{1/2} \exp(-E_g/2kT) \quad (4)$$

となる。 n_i は、電流の担い手であるので、抵抗 R [Ω] に逆比例し、基準となる抵抗 R_0 [Ω] により、温度 T のときの R は次のようになる。

$$R_T = R_0 \exp(E_g/2kT) \quad (5)$$

ここで、

$$B = E_g/2k \quad (6)$$

と定義する。 B [K] はサーミスタ定数⁽³⁾であり、俗に B 値とも呼ばれる。したがって、(5) 式に代入して、温度センサーの抵抗は、

$$R_T = R_0 \exp(B/T) \quad (7)$$

になり、横軸に $1/T$ をとり、縦軸に抵抗値の対数をとると、右肩上がりの直線を得ることができる。

3. 解析結果および考察

3.1 温度センサーの試作

Fig.1 に示す試料は、今回試作した温度センサーであり、 n 型のシリコンウェハを 0.52mm 角のさいころ状に切り出したものである。Fig.1 の右図は、その模式図で、最終的に、さいころの 1 と 6 の部分に電極用の金が蒸着されている。

切り出す前に、ホウ素を 1200℃ で数日間拡散させ、 p 型の部分を作製し、その後、電極を蒸着した。基板の n 型シリコンの比抵抗は、100~140 Ω cm である。

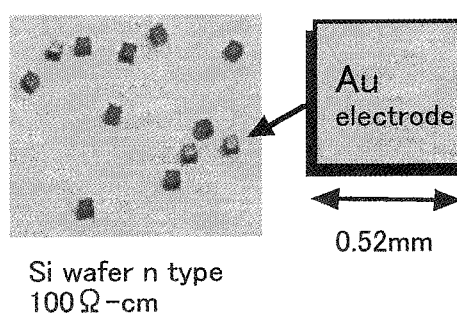


Fig.1 The Si cube sample configuration

測定に際しては、この立方体の上下の電極部分に、測定用の金属を密着させ、テフロン被服のケーブルを接続して、全体を高温槽に入れた。準備後、高温槽の温度を室温から 300℃ 程度にゆっくり変化させながら、試料の抵抗を測定した。

3.2 理論値と測定値の比較

Fig.2 は、横軸に絶対温度の逆数、縦軸に抵抗の対数を示したものである。上の軸に温度℃も合わせて示した。

黒丸は今回試作した試料の抵抗変化である。また、白丸は、式(7)で示した理論値である。

このとき、サーミスタ定数 B の値は、素材のシリコンのバンドギャップ $E_g = 1.11$ [eV]⁽⁴⁾ であるので、式(6)の関係から、次のように計算される。

$$\begin{aligned} B &= 1.11 \times 1.602 \times 10^{-19} / 2 \times 1.38 \times 10^{-23} \\ &= 6442 \quad [\text{K}] \end{aligned} \quad (8)$$

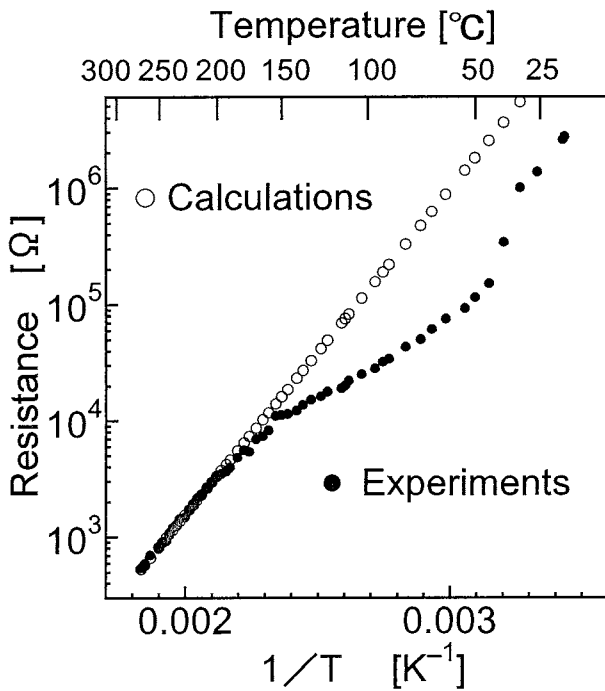


Fig.2 Relationship between logarithmic resistance and reciprocal absolute temperature

Fig.1 の白丸で示した理論直線は、式(8)の B 値によるものであり、150～300℃においては、良く一致している。しかし、それより低温部分では、かなりのずれが見られる。縦軸は対数なので一概にどれだけずれがあるかは、低温と高温で比較できないが、実際の実験では、こうした特性が観測された。

3.3 試料の熱処理後の特性

Fig.3 は、抵抗を測定する前に、あらかじめ試料を 400℃で熱処理したものの比較である。黒丸の none は、熱処理なしの場合で、Fig.2 と同じものであり、比較のため示した。

白丸以下の時間は、それぞれ熱処理した時間で、同じウエハ内の試料で熱処理時間を変えて複数個用意し測定した。25℃～150℃の低温部分では、熱処理時間が増加すると、それぞれ傾きが小さくなっていくことがわかる。400℃10min.程度では、それほど変化していないが、1hr.の熱処理で、ほぼ平らになった。また、それ以上の時間では、さらに低くなるが、15hr.の熱処理で、ほぼ収束状態になった。

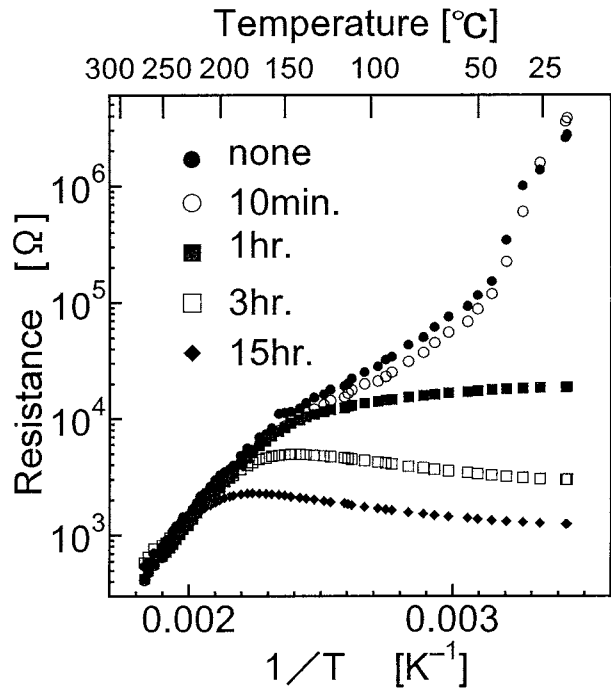


Fig.3 Dependence of sensor resistance on heat treatment time at 400℃.

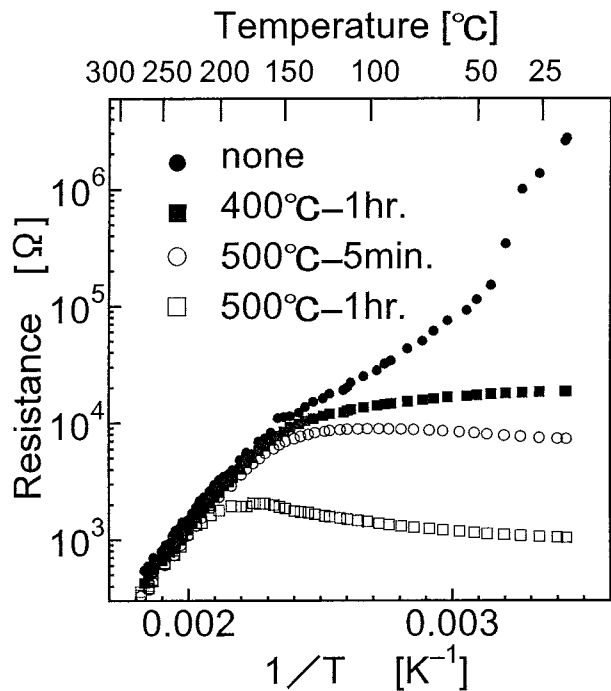


Fig.4 The comparison of heat treatment time and temperature.

Fig.4 は、熱処理の温度を 500℃にして時間を変化させ、さらに 400℃の場合との比較を示したものである。

熱処理温度が 500℃になると、熱処理時間が僅か 5min.の場合でも、400℃で 1hr.の熱処理以上に傾きが小さくなることがわかった。半導体型温度センサーの測定範囲の上限は、およそ 300℃であるが、400℃以上の場所に置かれると、短い時間でも低温部分でセンサーが劣化してしまうことになる。この理由を考察することにする。

3.4 B 値による考察

Fig.5 は、400℃で 10min.熱処理した試料を例にとり、理論的な式(7)を元に、B 値を変えた直線を描いたものである。ここに示すように、試料は、熱処理後、直線からのずれが観測される。150℃～300℃の高温部分では、熱処理温度と時間にあまり影響されずに、シリコンのバンドギャップから計算される $B=6442$ の直線で良く一致している。しかし、50℃～150℃の低温部分では、B 値を低く見積もると良い近時が得られることが確認された。

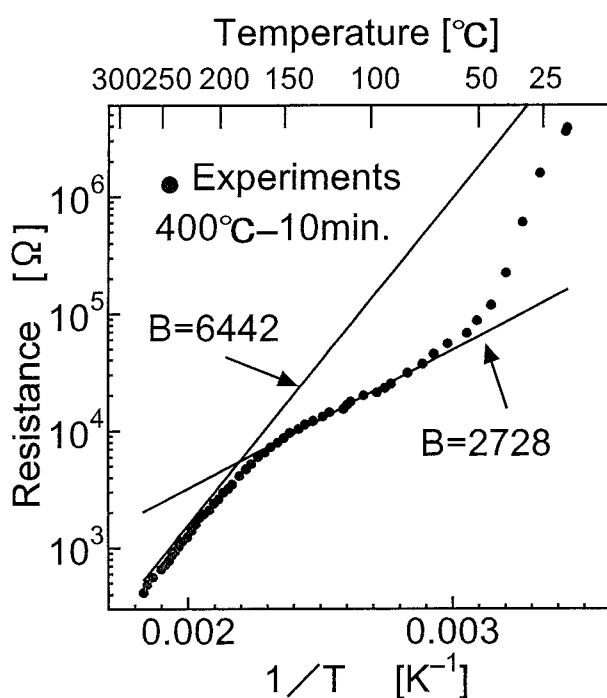


Fig.5 Calculated the theoretical line by B value.

B 値が変化する原因は、式(6)で示したように、素材のバンドギャップ E_g に関する。ただし、 E_g の値は確かに温度で変化するが、それはかなり

の高温の場合であり、この温度範囲ではほぼ一定と考えて差し支えない。

したがって、B 値の変化は試料の不純物準位によるものと推論される。つまり、比較的高温で熱処理すると、不純物として導入した元素が僅かに拡散して、バンドギャップ内にエネルギー準位を作り出すことが考えられる。通常、n 型や p 型の素材では、このような準位ができていて、かなりの高温でなければ、価電子帯から伝導帯へ電子が励起される前に、その準位から励起する。つまり仮想的にギャップが小さくなり、B 値も小さくなることが考えられる。したがって、温度センサーの熱処理による直線の変化から、逆に不純物準位を推定することも可能である。

Fig.5 で示した場合、低温での B 値は、実験結果から、およそ $B=2728$ であり、これを、エネルギーギャップに換算すると、

$$E = 2728 \times 2 \times 1.38E-23 / 1.602E-19 \\ = 0.47 \text{ [eV]} \quad (9)$$

となる。この結果から、ほぼ中央にエネルギー準位が存在することが見積もられる。全く熱処理をしていない試料でも、低温部分で、直線からのずれが観測されたが、試料作製時に必ず不純物導入の必要があり、その工程で、僅かな準位ができていたことがわかる。温度センサーを、わざと測定範囲以上の高温に長時間設置することはないが、長時間使用による劣化の原因になりうると考えられる。

4. 結論

温度センサーの特性を調べるため、シリコンを用いて、不純物を導入し、半導体センサーであるサーミスタを試作した。通常サーミスタの測定範囲は、室温付近から 300℃程度であるが、それより高温に放置し、ある時間熱処理した場合、抵抗-温度特性に、どのような影響が出るか検討した。

熱処理しない試料においては、理論的に計算されるサーミスタ定数 B の値により得られる特性と良く一致した。しかし、室温から 100℃に理論的な計算値からのずれを観測した。また、熱処理した試料においては、400℃で熱処理した場合、

その熱処理時間に応じて、理論的な数値からのずれが大きくなった。

この傾向は、特に、室温から 150℃の範囲で顕著であった。また、500℃での熱処理では、僅かな熱処理時間でも、急激に理論値からずれることも確認した。ただし、熱処理温度や時間に関係なく、すべての試料において、150℃～300℃の特性は、理論的に計算される値と良く一致した。

この良く一致する範囲での B 値に比較して、理論値からずれる温度範囲の B 値は小さくなり、小さくなった B 値を用いれば、サーミスタの理論式で近似できることが判明した。

B 値は、試料の素材のバンドギャップから計算されるので、試料が同じであれば変化することはない。しかし、これらの結果から、B 値の変化が、エネルギーギャップの仮想的な変化に起因することが考えられた。つまり、センサーの使用範囲を超えた温度で熱処理を行うと、温度の高さと時間により B 値が変化することから、熱処理によって、不純物が僅かに拡散して、エネルギーレベルを作り出すことが予想された。サーミスタは温度を測定するセンサーであるが、こうした熱処理による不純物準位の確認も、逆に測定できることが示唆された。また、非常な高温にさらされた場合の、センサーの劣化原因の一部についても解明できる可能性があることも考察された。

参考文献

- (1) センサ活用技術, 工業調査会 p377 (1984)
- (2) センサデバイス, コロナ社 p89 (2000)
- (3) 基礎センサ工学, 電気学会 p91 (1999)
- (4) Andrew S. Grove,
Physics and technology of semiconductor devices,
John Wiley and Sons, Inc., p102 (1967)

(平成17年 4月29日 受理)

制御工学導入のための直感的モータ制御実験装置

小坂敏文*, 吉本定伸*, 西村 亮*, 松林勝志**

Intuitive motor-control experimental equipment for control engineering introduction

Toshifumi KOSAKA, Sadanobu YOSHIMOTO, Makoto NISHIMURA, Katsushi MATSUBAYASHI

For the students who desire to learn how to control machines with a micro computer, the web teaching materials and experimental apparatus have developed. Because it is hard for beginners to learn micro computer, the web pages show simple C programming codes that control sensors and actuators without details. A set of functions enable to hide initialization of peripherals, bit operations. Compile command file that is developed for convenience also hide start up routines, interrupt vectors and memory assignments. In addition other web pages give a complete description of contents that are hidden in the web pages.

(Keywords : motor control, micro computer)

1. はじめに

マイクロコンピュータを使って、何かの機械を制御する方法の導入部について、指導する場面が多い。卒業研究で曲芸ロボットやペットロボットの製作や、ロボコンチームのロボット制御グループに向けた学習の導入部は、学習者にあきさせずに、マイクロコンピュータのビット入出力部を理解してもらうことが必要である。本報告では、学習者がC言語によりマイクロコンピュータのビット入出力部を学習し、センサ入力部、アクチュエータ出力部について学ぶH8/3048を利用した入門装置と入門学習 Web 教材を開発したことについて述べる。

「入門学習」としているのにはわけがある。すべてのマイクロコンピュータについて理解しないと「もの」を動かせないという立場は取らないということである。すなわち、重要だが最初は知らないほうが幸せという内容は隠して、学習を進めることができるようになっている。

この教材は、そのまま、情報工学科のコンピュータ計測制御の授業に使われ、またトリッキーな動きをするロボットの製作や、ロボコンチームの自主教材として使われる他、制御工学授業の導入部で、直感的なモータ制御、フィードバック制御へと続く教材のための導入部にもなっている。

2. 学習手順

初めてマイクロコンピュータを学ぶ学習者に対して、チュートリアル方式を採用するので、何を最初に理解し、何を後回しにするのか、の選択が

大事である。

情報工学科の中学年を想定しているため、学習者がパーソナルコンピュータなどでのCプログラミングの制御構造がある程度わかっていることを仮定し、その延長線上でマイクロコンピュータ上で動作するCプログラミングを行う手順とする。あるいは、ロボコンゼミの学生にとっては、C言語の細部に入り込まずに概要を見てから、C言語自学習得の契機になるような内容とする。

最初はマイクロコンピュータの IO に関する部分は関数で隠しながら、マイクロコンピュータの IO インタフェイスを意識しないで済む操作関数群を与えて、マイクロコンピュータがプログラムどおり LED を点灯させたり、スイッチの ON-OFF 状態を検知するプログラミングを行なう。

3. 実験用マイクロコンピュータセット

実験用マイクロコンピュータセットはH8/3048のマイコンカード（秋月電子で販売）およびマザーボード（秋月電子で販売を用いるため、安価にセットを組むことができる。

H8/3048 の諸元を表 1 に示す。モード 7 での使用では、はフラッシュメモリ 128kbyte と RAM4kbyte を持ち、また IO 関係はメモリマップトで使いやすい。シリアルコミュニケーションインタフェイス、タイマユニットも入門用としては十分である。

購入時点でのマザーボードでは、フラッシュメモリライタ, LED2 系統, ディップスイッチ 8 系統, プッシュスイッチ 4 系統のみであるが、実験用と

して、豆電球 1 系統、モータ制御用に、ロータリエンコーダカウンタ用信号 2 相、PWM 正逆転可能なモータドライバ IC を搭載している。

図 1 に、作成した実験装置を示す。

表 1 H8/3048 の諸元

レジスタ	32bit
クロック	16MHz
フラッシュメモリ	128kbyte
RAM	4kbyte
シリアルコミュニケーション インタフェース	2ch独立
タイマユニット	16bit×5
ADC	10bit×8ch
DAC	8bit×2ch

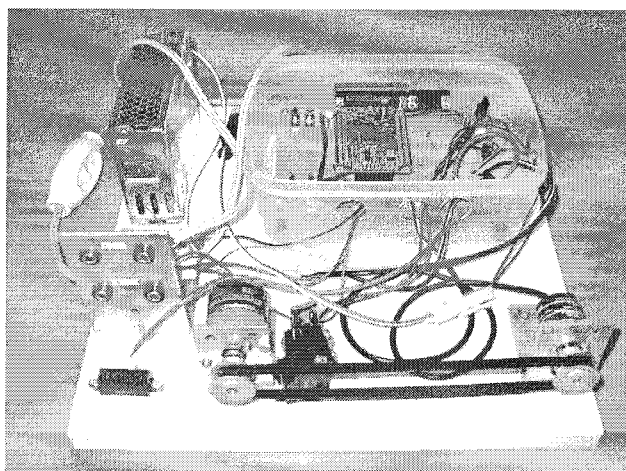


図 1 実験用マイクロコンピュータセット

4. C 言語マイコンプログラミング

通常の C プログラミング入門は PC 上のエディタでコードを書き、コンパイル&リンクで実行形式ファイルを作り、実行する手順で行なわれるが、H8 マイコンでの C プログラミングは、PC 上のエディタでコードを書き、クロスコンパイル&リンクで実行形式ファイルを作り、これをシリアル通信でマイコンのフラッシュメモリに転送し、マイコン上で実行する手順となる。入門時には、これらの手順が複雑で手数がかかるため、GUI インタフェースでよく行なわれているドラッグ&ドロップで、コンパイルから、リンク、転送（ダウンロード）までを、すべて行なうコマンドを Windows 上に開発した。学習者は、自分で作成した C ソースファイルのアイコンをコマンドアイコンにドラッグ&ドロップするだけで、コンパイルから、リンク、転送までが行なわれる。

学習者は最初は、このドラッグ&ドロップで何が行なわれているのか知る必要がないし、またこの作業のわずらわしさを感じることもない。また、学習者は、ビット入出力部を意識することなく、関数呼び出しを行なうことにより入出力部

のビット操作を行なうことができる。また、関数群は学習者が見ようと思えば見えるように、ヘッダファイル中にすべて記述している。

この実習用システムにおいて、学習者に無用な混乱を最小限になるようにしている（見せないようにしている）仕掛けは次のようなものである。

- (1) スタートアップルーチンの存在は見えない。しかし初期化されたあるいは初期化されない静変数の扱いは重要なので、一通り実習を終えたところで解説されている。
- (2) リンカスクリプトの存在は見えず、自動生成 (CMD が作っている) されている。すなわち、学習者は、機械語コードや、静的変数のメモリ割付については何も考えない。これも一通り実習を終えたところで解説されている。
- (3) タイマ割り込みはよく使われるので、重要だが、割り込みベクトルの設定などは面倒であるため、これも見えない。ただし、タイマ割り込み関数の名前は固定である。これも一通り実習を終えたところで解説されている。なお、初級向けの解説では、自分で割り込みベクトルを設定するようにさせている。
- (4) ビット入出力部を意識させないための関数群を利用している。これはヘッダファイル内に直に関数定義を与え、必要に応じて関数を見ることが出来るようにしてある。

5. プログラム作成から実行まで

C ソースファイルの作成は、PC 上の汎用エディタで行なう。C ソースファイルが出来たら、このマイコンプログラム用にあらかじめ用意されている CMD ファイルのアイコン上にドラッグ&ドロップを行うことにより、コンパイル・リンク・機械語ファイル転送までを自動的に実行するようになる。図 2 にテンプレートフォルダを示す。

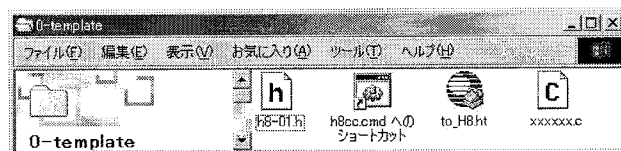


図 2 テンプレートフォルダ

ここでは xxxxxx.c のアイコンを h8cc.cmd にドラッグ & ドロップすることにより、コンパイルから機械語ファイルの転送まで実行される

そして、同じフォルダ内にあるターミナルソフトの起動アイコンを立ち上げることにより、シリ

アル通信プロトコルが適性に設定された状態で、マイコンと通信できるようになっている。

6. サンプルプログラム

この実験装置のサンプルプログラム及び課題は Web 教材として公開されており、学生実験、卒業研、ロボコンゼミ勉強会などで利用できるようになっている。

コンパイラは、日立が公開している Ver1, Ver2, および GCC の 3 種類の環境でつかえるように、3 種類の Web 教材のシリーズとして公開されている。サンプルプログラムとして次のものが公開されている。

- (1) シリアル通信
- (2) LED 駆動
- (3) タイマ割り込み LED 点滅プログラム
- (4) 8 ビット DIP スイッチプログラム
- (5) プッシュスイッチプログラム
- (6) リミットスイッチプログラム
- (7) 電球点滅プログラム
- (8) DA コンバータプログラム
- (9) AD コンバータプログラム
- (10) 位相カウンタによるインクリメンタル型ロータリエンコーダのパルス計測
- (11) モータ駆動プログラム
- (12) PSD プログラム

(10), (11) は、モータ軸角度の取り込み、PWM 指令値によるモータの正転逆転が出来ることを提示し、後に続く直感的モータコントロールの実験へとつなげている。

以下に代表的なサンプルを示す。

6.1 シリアル通信で PC とマイコンのデータ授受

シリアルコミュニケーションインタフェース (SCI) で PC と通信する。SCI の初期化関数、PC への送信部には整数のみ扱う printf 風の関数、PC からの受信部には 1 文字入力や整数値入力の関数、受信バッファチェック関数などを用意し、ハードウェアマニュアルの世界から距離をおいた。

このため、マイコンプログラムらしくない導入部となっている。リスト 1 にサンプルプログラムを示す。

リスト 1 SCI 通信

```
#include "h8-01.h"

main()
{
    int x,y,add,diff;
    initSCI1(); /*SCI1 初期化*/
    SCI1_printf("** Serial Communication Interface **\n");
```

```
while (1) { /*無限ループ*/
    x=getIntSCI1("Key in an integer number x=>");
    y=getIntSCI1("Key in an integer number y=>");
    add=x+y;
    diff=x-y;
    SCI1_printf("x=%d y=%d x+y=%d\n",x,y,add);
    SCI1_printf("x=%d y=%d x-y=%d\n",x,y,diff);
}
```

```
** Serial Communication Interface **
Key in an integer number x=>26
Key in an integer number y=>31
x=26 y=31 x+y=57
x=26 y=31 x-y=-5
Key in an integer number x=>100
Key in an integer number y=>-20
x=100 y=-20 x+y=80
x=100 y=-20 x-y=120
Key in an integer number x=>
```

6.2 LED の ON-OFF と制御時間待ちループ

マザーボード上の 2 つの LED の点滅を行う。LED 点灯のための初期化関数、LED 点灯、消灯関数を用意した。リスト 2 にサンプルプログラムを示す。マイコンプログラムが時間とともに動いているのが実感できる。

リスト 2 LED 交互点滅

```
#include "h8-01.h"

/*何もしないで指定された時間[msec]たつと戻る関数*/
void msecwait(int msec)
{
    int i,j;
    for (i=0;i<msec;i++) {
        for (j=0;j<1588;j++);
        /*1588 は実測によって求めた値*/
    }
}

main()
{
    unsigned int count=0;
    initSCI1(); /*SCI1 の初期化*/
    initLed(); /*LED の制御のための初期化*/
    SCI1_printf("**LED(P5-0,P5-1) winking**\n");
    while (1) {
        SCI1_printf("count=%5u \n",count++);
        turnOnLed(0); /*LEDO の ON*/
        turnOffLed(1); /*LED1 の OFF*/
        msecwait(500); /*0.5 秒待つ*/
        turnOnLed(1); /*LED1 の ON*/
        turnOffLed(0); /*LEDO の OFF*/
        msecwait(500); /*0.5 秒待つ*/
    }
}
```

6.3 LED の ON-OFF とタイマ割り込み

マザーボード上の 2 つの LED の点滅を行う。タイマ割り込み初期化関数、タイマのスタート・ストップ関数を用意した。リスト 3 サンプルプログラ

ラムを示す。タイマ割り込みの概念を学ぶことを目的とし、呼び出されなくても一定時間周期で起動する関数が存在し、それによって LED が点滅動作していることを確認できる。

リスト 3 タイマ割り込みによる LED 交互点滅

```
#include "h8-01.h"

main()
{
    unsigned int count=0;
    initSCI1();
    initLed();
    initTimer01Int(500);
    /*タイマ割り込み初期化 500msec 周期*/
    SCI1_printf("**Timer Interrupt test with LEDs**\n");
    SCI1_printf("Key in [SPACE key] then start or stop\n");
    while (1) {
        while (getCharSCI1()!=' ');
        E_INT(); /*CPU 割り込み許可*/
        startTimer01(); /*タイマスタート*/
        while (chkgetCharSCI1()!=' ') {
            SCI1_printf("count=%5u  \r",count++);
        }
        stopTimer01(); /*タイマストップ ch0,ch1*/
        D_INT(); /*CPU 割り込み禁止*/
        turnOffLed(0);
        turnOffLed(1);
    }
}

/*タイマ割り込み関数*/
/*この関数名は変更不可。プログラム中で 1 つしか使えない。*/
void interrupt_cfunc()
{
    static int tick=0;
    if (tick==1) {
        turnOnLed(0); turnOffLed(1);
    } else {
        turnOffLed(0); turnOnLed(1);
    }
    tick=1-tick;
}
```

7. 舞台裏の解説

「6」で示したように、マイコンらしいところをすべて隠して、初学者入門に適するようにした。しかし、学生はこのサンプルプログラムでマイコンを理解したつもりになってしまうと困るので、隠してしまった舞台裏の解説を、Web に載せている。

マイコンの入門として、知っておかなければならないこととして、次のことを解説している。

(1) 割り込みベクタテーブルに割り込み関数の先頭番地が格納されていること。H8 の場合は実行先頭番地（スタートアップルーチンの先頭番地）も割り込みベクタ 0 に格納されていること。

(2) リンカスクリプト（リンカオプション、この Web 演習では自動生成されているため、学習者は意識していなかった。）に実行コード、定数、静

的変数のアドレス割り当てを書いておくこと。また静的変数に初期値が割り当てられている場合は、そのことも明示する。

この割り当てでは、ROM と RAM のアドレス割り当てを考慮しながら行う。

(3) CPU の起動と同時にスタートアップルーチンが起動し、スタックポインタの設定、ROM 部に置かれた静的変数の初期値を、RAM 部の静的変数にコピーする作業を行う。

(4) 割り込み関数では、割り込み要因（ハードウェア依存）に対して手当てが必要である。割り込み関数のはじめでレジスタの退避、割り込みから復帰する時にはレジスタの復帰が必要。

これらの舞台裏の解説の他に、自分で割り込みベクタ、スタートアップルーチン、リンカスクリプト、ソースコードをすべて自分で管理しながら演習を行う、初級者向けの Web 教材も用意されている。

また、この Web 教材ではハードウェアがどのように動作するのか触れていないが、別の Web 教材で解説している。

8. まとめ

学習者が C 言語によりマイクロコンピュータのビット入出力部を学習し、センサ入力部、アクチュエータ出力部について学ぶ H8/3048 を利用した入門装置と入門学習 Web 教材を開発した。詳細を隠し、初学者が本質を理解しやすくし、その後、隠した部分を解説する形式を取っている。この実験装置及び Web 解説は、この後、モータの制御へとつなげることができるようになっている。

このシステムの詳細は次の Web サイトにある。

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

http://www2.tokyo-ct.ac.jp/~j/staff/kosaka/for_students/H8.html
をたどり

http://www2.tokyo-ct.ac.jp/~j/staff/kosaka/for_students/H8/H8-MBSYS-Pro/H8-MBSYS-Pro.html

http://www2.tokyo-ct.ac.jp/~j/staff/kosaka/for_students/H8/h8CPU_Output/h8CPU_Output.html

http://www2.tokyo-ct.ac.jp/~j/staff/kosaka/for_students/H8/h8CPU_Input/h8CPU_Input.html

http://www2.tokyo-ct.ac.jp/~j/staff/kosaka/for_students/H8/3048/h8general.html

http://www2.tokyo-ct.ac.jp/~j/staff/kosaka/for_students/H8/3048/MemoryAssign.html

http://www2.tokyo-ct.ac.jp/~j/staff/kosaka/for_students/H8/3048/interrupt.html

http://www2.tokyo-ct.ac.jp/~j/staff/kosaka/for_students/H8/3048/h8startup.html

(平成 16 年 6 月 16 日受理)

内部サイバーテロまたは致命的バグからシステムを 保全するクリティカルリアルタイムシステム

青野正宏*, 小嶋徹也*

Real Time Critical Fault Tolerance System against Internal Cyber Terrorism or Fatal Bug

Masahiro AONO, Tetsuya KOJIMA

The cause of the system trouble which has big influence socially is software in many cases. It is difficult to detect every software bug before the release. As a provision against these troubles, there is the technique of software fault tolerance (SFT) in very important systems. However multiple software development requires big cost. We propose a new SFT method in this paper. This method does not guarantee perfect correctness, but makes a point of the continuity of operation. So, practicality and reasonable cost are realized.

(Keywords : Software Fault Tolerance, Redundancy, Reliability)

1. はじめに

昨今は情報通信の世界においてセキュリティが重要な課題となっている。コンピュータウイルス、ワーム、スパイウェア、DoS 攻撃など、さまざまなシステムの安全を脅かす問題があり、その解決策も研究されている[1]。これらの問題は、インターネットに接続され、利便性を得るための代償としてのリスクである。これらの問題は内部によるデータ不正コピーの問題を除けば、システム外部からの攻撃の問題として捉えられている。

原子力システム、防衛システム、管制システムなど、市民の生命・財産・生活に直結するようなクリティカルリアルタイムシステムにおいても、この問題に関して警鐘は鳴らされているが、外部からの攻撃に対する対応は比較的容易である。安全を重視するため、システムの自由度は小さくなくても良い。あらかじめ決められた範囲のモジュールの実行に限定し、外部からモバイルコードを読み込まなければならない必然性は小さい。システムに読み込むデータは、入力段階でフォーマット検査、異常値排除の検査を行えば良い。途中のデータの傍聴・改ざんを防ぐため、専用線を使用することも許されやすい。

しかし、これは内部のプログラムが信用できる場合である。検査ですべてバグを検出することが現実には困難であり、最近のこのようなクリティカルリアルタイムシステムのシステムダウンはソ

フトウェア要因によるところがほとんどである。

さらに、現実には幸いにも事例がまだないため、関心は薄いですが、プログラマに破壊工作者が含まれていると危険である。現にカルト教団の信者が末端の下請けとして国家プロジェクトのシステム開発に携わっていた例がある。破壊工作のソフトウェアを開発したところまで行っていないが、そのような事例が発生してもおかしくはない。検査逃れを行うプログラムを意図的に作成することは容易である。例えば特定の期日の特定の時間のみに破壊工作を行うよう作成することも考えられる。元請けによりコードレビューがキチンと行われると良いが、難読化させて解読までさせず、仕様どおり動作すれば納入完了とすれば「爆弾」を包含することになる。あるいは、よほど厳重な管理をしていない限り、検査が終わったモジュールを、隙を見て入れ替えるということも考えられる。これはハードウェアを多重化しても、同じソフトウェアを用いている限り、同時にシステムダウンが起こる可能性を低くすることはできない。

対策として、ソフトウェアフォールトトレランスの考え方がある。この方式の採用により、意図しない障害(単なるバグ)の場合にも対応できるが、悪意を持ったソフトウェア混入への対策にもなり得る。ただし、現実にはコストの問題から実現のハードルが高い。本稿では、この方式について実用可能とする観点から検討した。

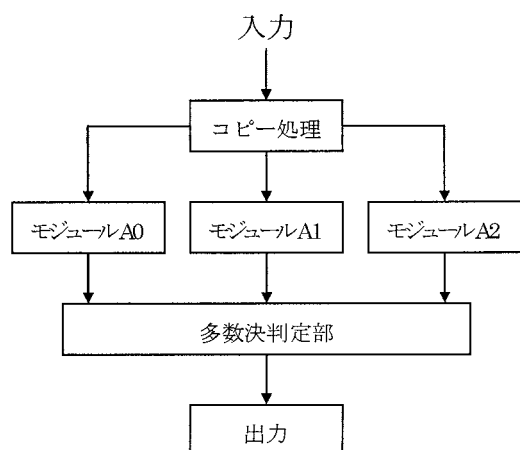


図1 Nバージョン法

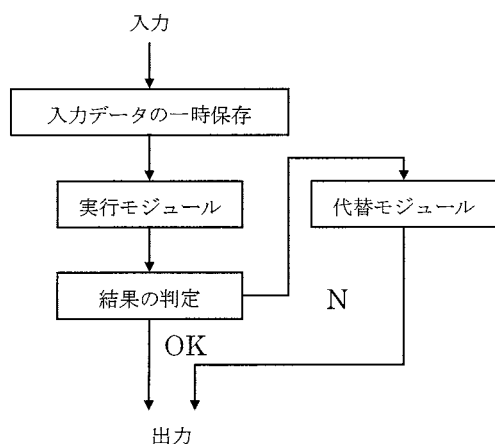


図2 リカバリブロック法

2. 既存の代表的手法と問題点

ソフトウェアフォールトトレランス手法として代表的な手法には、 N とおりのソフトウェアを並列実行させ、その出力を照合して多数決の結果を採用する N バージョン法がある。(図1) 多数決のためには、 $N \geq 3$ でなければならない。すなわち、ソフトウェアの開発コストは、1種類のソフトウェア開発の場合に比べて3倍以上になる問題がある。また、出力を全く同じにするためには処理方式を詳細・厳密に決めておかないと、結果の精度や処理タイミングで微妙な差が出てくる可能性がある。ところが詳細に共通設計をしておくと、設計誤りが入り込む危険が大きくなるという問題がある。また、モジュールへの入力と出力の段階が単一系となり、そこが弱点となる可能性がある。

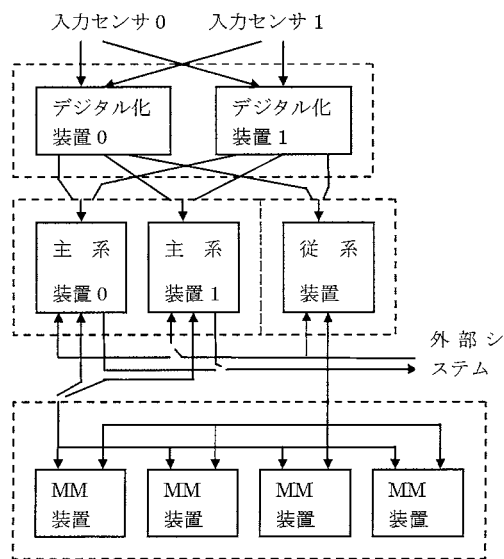


図3 部分多重系システム

ソフトウェアフォールトトレランス手法としてもうひとつの代表的手法として、リカバリブロック方式がある。(図2) リカバリブロックはあるモジュールを実行した結果をその出力段階の検査モジュールで検査し、不具合が検出されれば、そのモジュールを捨てて代替バージョンの実行からやり直す。 N バージョン法のように3倍以上のバージョンを用意する必要はないが、処理のやり直しを含むため、時間的に遅延する恐れがある。

3. 部分多重系フォールトトレランスシステム

筆者らは、あるクリティカルリアルタイムシステムで、ソフトウェアフォールトトレランスシステムを開発し、実運用に供している[3]。図3に概念図を示す。点線枠はS/W的にひとつの系である。MM(Man-Machine系)装置は人間機械系の表示監視及び入力装置である。主系装置と従系装置は、複雑なモジュールとH/Wから構成されているが、機能的にまとめて、簡略化して表現してある。その特徴は次のとおりである。

- ・ ハードウェア及び主系と従系の二重系構成
- ・ 主系は、それ自身でH/W構成をデュプレックス構成とする。
- ・ 主系の開発と従系の開発は物理的・組織的に異なったチームでそれぞれ開発する。
- ・ システムへのデータ入力のうち、観測データ及び主要業務データは主系と従系に並行して入力する。

- ・ インタラクティブなデータ入力の主系のみとする．主系がダウンした場合は従系からも入力が可能とする．
- ・ システムからの出力は，主系のみとする．従系に切り替わったときは，従系から対人系は出力する．対他システムへは出力しない．
- ・ 最上流のデジタル化装置，最下流のMM装置の部分は，ハードウェア的には多重化されているが，ソフトウェア(ファームウェア)的にはシングルである．
- ・ 従系の機能は限定的なものにする．
- ・ 系の切り替えは各 MM 装置別に手動で行う．

この結果，主系が障害を起こし，従系に切り替った場合，インタラクティブなデータの更新は反映されず，完全なデータの引継ぎは望めない．従系動作中は処理機能が大幅に限定される．システムがダウンすると安全上の危険と経済上の損失が大きい，人間機械系のシステムであり，人間によりある程度のカバーが可能であったので，従系は分単位の主系回復処理が完了するまでの一時的なバックアップシステムとして，極めて有効に作用している．MM 装置とデジタル化装置は S/W (ファームウェア) は単一である．しかし，デジタル化装置はシステム障害を起こす可能性は極めて低く，MM 装置は同時に複数の装置が障害を起こす可能性は低いと判断し，コスト効果の観点から多重化を図らなかった．結果として，S/W 障害に対処しているのにも関わらず，開発費の増大も抑制することができた．

しかし，このシステムは観測データを主として人間機械系のシステムであったため実現できたシステムである．また，管理者が，末端の開発者まで把握できていたので問題はなかった．しかし，一般には内部サイバーテロを想定すれば，MM 装置が一斉に障害を起こす危険性は存在する．

4. コストと信頼性を両立させたクリティカルリアルタイムシステムの提案

4. 1 基本構成と処理の流れ

提案システムは，処理結果が正しいか否かは判断しない．システムダウンを防ぐのが目的であり，Nバージョンシステムのように個々のデータの正確性を保証することが目的としない．各モジュール

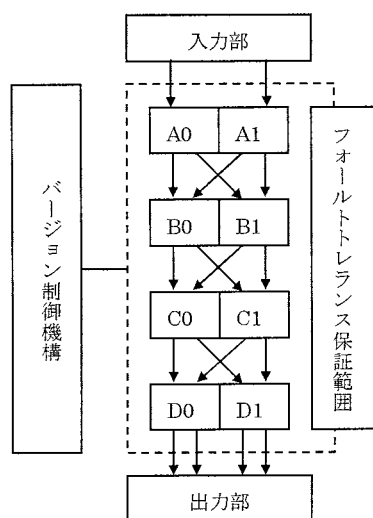


図 4 基本構成

ルを実行すれば，実行結果について正当性検査を行うが，その内容は，規定された時間内に入力されているか，データのフォーマットは正しいか，データの値は規定の上下限值内であるかなどであり，どこまで検査するかは，検査のコスト(検査ソフトウェア開発コスト・実行負荷など)とバグの摘出率から決められる．

しかし，検査で正当でないと判断されても前段のモジュールに問題があるとは限らない．その前のモジュールにおける処理に問題があり，そのデータが検査直前のモジュールでシステム障害を引き起こす可能性もある．そのため，モジュールの組み合わせについて考慮しなければならない．

提案システムの概念を以下に示す．まず，単純な例から説明する．システムの機能は複数のモジュールに分割する．例として，4つのモジュールに分割されるものとして説明する．モジュールの名称を A, B, C, D とする．各モジュールは複数のソフトウェア・バージョンが異なる開発チームにより開発されるものとする．例ではそれぞれ2つのバージョンを持つものとし，それぞれ，A0, A1, B0, B1, C0, C1, D0, D1 とする．ソフトウェアにも冗長性を持たせているため，当然ハードウェアも冗長性が必要であり，ひとつのモジュールの障害がプロセッサの機能停止を伴うリスクを考慮すれば，モジュールの各バージョンは，異なるプロセッサ上に搭載されるものとする．データの流れは $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ の一方向とする．各バージョンの出力結果は a0 というように，表現する

ものとする．図 4 にその構成を示す．

A0, B0, C0, D0 をひとつのプロセッサ, A1, B1, C1, D1 をもうひとつのプロセッサで実現する方式でも, いずれかひとつのハードウェアまたはソフトウェア障害がシステム障害にならないという意味で冗長性は確保されている．しかし, モジュールごとに独立性を確保することを考慮すればバージョン単位で別のプロセッサを割り付ける方式が自然である．

入力部から入力されたデータは A0 と A1 の 2 つのモジュールバージョンに入力される．各モジュールバージョンは処理結果 a_0 , a_1 を次段のモジュールバージョン B0, B1 に入力する．モジュールバージョン B0 は処理結果 a_0 と a_1 を受け取り, モジュールバージョンの検査部でデータの正当性検査を行う．正当であれば, 入力された a_0 と a_1 の結果が異なっても許容する．この理由は, 値が異なっても, タイミングの相違・計算方式の相違による精度の相違でいずれも正しい場合もあること, 異なってもいずれが正しいか不明であるためである．

検査部で正当性を認められた場合, 実行部で a_0 と a_1 のデータ各々を実行する．このプログラムは同一バージョンで良い．検査部で異常が検出された場合, その異常データに対する処理は行われない．

モジュールバージョン B0 の構成は図 5 のとおりである．B1 も同様の構成をとる．各部は独立したプロセッサであっても共通のプロセッサであっても良い．いずれの構成をとるかはコストと処理時間とのバランスを勘案して決めれば良い．入力もモジュール B のなかのモジュール B からの出力は, a_0/b_0 , a_0/b_1 , a_1/b_0 , a_1/b_1 の 4 種類となる．

同様に, モジュール C においても同様に, 各モジュールバージョンは各々 a_0/b_0 , a_0/b_1 , a_1/b_0 , a_1/b_1 に対する入力検査部と実行部を持ち, 8 種類の出力データを持つことになる．このように組み合わせを保持する理由は, 単独モジュールで問題が生じなくても, 複数のモジュールを組み合わせで処理したとき, 潜在化していた問題点が顕在化することが多いからである．このように全ての組み合わせを試していくと, モジュール数が n , バージョン数が各モジュールにたいして, 2^n 個の

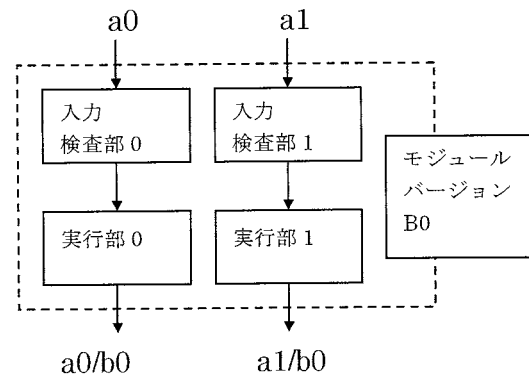


図 5 モジュールバージョンの構成

出力データとなり, 幾何級数的に処理すべきデータ数が増えてしまう．

そのため, 各モジュールは, 直前のモジュールからの中間処理データについての検査を行い, その結果を利用しつつ所定の手順にしたがって, 実行処理を行う中間処理データが選択される．この選択を行う処理データ選択手段は, 本システムではバージョン制御機構である．

直前のモジュールからの中間処理データの全てが正常である場合には, バージョン制御機構は, 例えば, 処理精度などに基づいてあらかじめ定められた規則にしたがって選択を行う．図に示す例では, バージョン C0, C1 において, ともにデータ a_0/b_0 , a_1/b_1 が選択される．この選択には, 冗長構成としての効果を最大とするために, 当該モジュールに至るまでのバージョンの組合せがなるべく相違するようにすることが望ましいという配慮がされている．これにより, 選択される組合せには各モジュールの各正常バージョンが少なくとも 1 つは組込まれることになる．例えば, 4 つの中間処理データのうち 2 つを選択する場合において a_0/b_0 を 1 つに選択するならば, このデータが生成される際に利用されたバージョン A0, B0 で同様の処理を受けているデータ a_0/b_1 , a_1/b_0 よりもデータ a_1/b_1 がもう 1 つのデータとして望ましい．同様に, もし, 1 つをデータ a_0/b_1 とするならば, もう 1 つはデータ a_1/b_0 が望ましい．バージョン C0, C1 はバージョン制御機構により選択されたデータについてのみ実行処理を行う．データ a_0/b_0 , a_1/b_1 に対するバージョン C0, C1 の処理である A0/B0/C0 実行処理, A

1/B1/C0 実行処理, A0/B0/C1 実行処理, A1/B1/C1 実行処理が行われ, 一方, データ a1/b0, a0/b1 に対するバージョン C0, C1 の処理である A1/B0/C0 実行処理, A0/B1/C0 実行処理, A1/B0/C1 実行処理, A0/B1/C1 実行処理は行われない. このように, バージョン C0, C1 へのそれぞれ 4 つの入力データのうち, それぞれ 2 つのみを実行処理することにより, 全体の機能処理を半分に削減する.

4. 2 異常検出時の代替処理

検査部が前段からのモジュールからの中間処理データに異常を検出した場合, 異常が検出されたデータが, バージョン制御機構により選択されておらず実行処理を行われない入力データである場合には, 特別な措置は採られない. これに対し, バージョン制御機構により選択され実行処理を行われる入力データである場合には, データの代替措置が採られる. この場合にはバージョン制御機構は, 異常データを選択対象から除外しこれに対する後続のモジュール C の実行処理を行わない. 代わりに今まで選択されていなかった中間処理データの中から代替データが選択され, このデータに対してモジュール C の実行処理が行われるように制御が切り替わる.

例えば, データ a1/b1 に異常が検知された場合には, 当該データは選択対象から除外され, 代わりにデータ a1/b0, a0/b1 のいずれかが選択され, それに対するモジュール C の実行処理が行われる. 代替データの選択は, そのデータが正常であることと, 例えばあらかじめ定められた優先順位とに基づいて行われる. ここで, 代替データとしてデータ a1/b0 が選択された場合には, バージョン C0, C1 の実行処理の対象は, データ a0/b0, a1/b1 からデータ a0/b0, a1/b0 に変更される.

代替措置により, 可能な限り選択されるデータ数は維持される. ちなみに, 異常が増加して正常なデータ数が正常時の選択データ数を下回った場合には, バージョン制御機構による選択データ数は, 残っている正常なデータ数で制限される.

モジュール D についてもモジュール C と同様に, 実行処理の選択が行なう. モジュール D は, モジ

ュール C からバージョン C0, C1 合わせて 4 つの中間処理データを入力される. これら 4 つのデータは, バージョン D0, D1 にそれぞれ渡されるので, 合計 8 つの検査処理が行われる. バージョン制御機構は, この検査結果に基づいて, 各バージョンに渡されるそれぞれ 4 つのデータからそれぞれ 2 つを選択し, それらについてのみ実行処理を行う. 例えば, モジュール C からの 4 つの中間処理データがデータ a0/b0/c0, a1/b1/c0, a0/b0/c1, a1/b1/c1 であるとする. これら全てが正常である場合には, バージョン制御機構は例えば, データ a0/b0/c0, a1/b1/c1 を選択して, この 2 つについてバージョン D0 の実行処理である A0/B0/C0/D0 実行処理, A1/B1/C1/D0 実行処理と, バージョン D1 についての実行処理である A0/B0/C0/D1 実行処理, A1/B1/C1/D1 実行処理が行われる. また, いずれかの中間処理データに異常が検知された場合には, やはり代替措置が講じられる.

モジュール D からは, こうして通常は 4 つの中間処理データ a0/b0/c0/d0, a1/b1/c1/d0, a0/b0/c0/d1, a1/b1/c1/d1 が出力される. 出力選択部はこれらのうち 1 つを運用系処理結果データとして選択し, 出力する. 例えば, 正常時には A0, B0, C0, D0 を使用することが, それぞれ, A1, B1, C1, D1 を使用することよりも望ましい場合には, データ a0/b0/c0/d0 を選択して最終的な出力データとして出力する. つまり, 出力選択部は, このデータの選択により, バージョン組合せ A0/B0/C0/D0 を運用系として選択する. 一方, 選択されなかった残りの 3 つの組合せ及び中途までの処理が行われた組合せが待機系とされる.

本装置では, 上述したように, 全バージョン組合せのうち一部の組合せについてのみ完全に実行処理が行われる. そして, その選択されたバージョン組合せに含まれるバージョン単体の障害 (例えば, バージョン A0 の障害) やバージョンの組合せに起因する障害 (例えばバージョンの組合せ A0/B0 で起こる障害) が発生した場合には, それらを含むバージョン組合せを選択対象から除外し, 他のバージョン組合せで代替する. この代替

0 から A 1 へデータ処理を引き継ぐ場合には、バージョン A 0 の永続性データ記憶領域に格納された永続性データがコピー変換処理部で中間形式に変換され、A 1 の中間バッファに書き込まれる。A 1 のコピー変換処理部は、A 1 の中間バッファから中間形式の永続性データを読み出して A 1 で用いられる形式に変換し、A 1 の永続性データ記憶領域に格納する。逆にバージョン A 1 から A 0 への転写も可能である。また、他のモジュール B, C, D についても同様である。

一過性データを転写しないのは、上述したように運用に致命的な影響がなく、ある程度の時間が経過すれば正しい状態に収束することが期待されるからである。このように一過性データの転写を省略することにより、代替処理の負荷を軽減することができる。なお、ここでは各バージョンの設計の独立性を高くとることができるように、永続性データのデータ形式の変換を行う構成としたが、データ構造が単純でデータ構造設計による障害のおそれがない場合及び組合せが変わるだけで実行バージョンに変更がなければ、コピー変換処理部を設けず単純コピーとする構成も可能である。

本提案システムは、以上の構成により、運用系と待機系を同時に実行すると共に、待機系の障害検知確率を高め、運用系に障害を検出すると直ちに待機系に切り替え、運用系または待機系に障害を検出すると新たな待機系を組み込み、システム全体としての信頼性を向上させる。

5 双方向へのデータの流れる場合

5.1 再帰処理

3 章では、一方的なデータの流れる場合の例を示したが、実際は後段の処理が前段に入力される（再帰構造）こともある。図 7 は、再帰構造を有した S/W の概略のブロック図例である。ここでの再帰性は、モジュール D はモジュール C の処理結果を受けて処理を行うが、そのモジュール D の処理結果が再びモジュール C に入力される構成に示されている。

正常な場合には、モジュール A, B を実行した後、モジュール C ではモジュール A, B に関する各バージョン組合せを検査する。ただし、バージョン組合せ A 0 / B 0 についての検査は、モジュール B からの入力に合わせてモジュール D からの

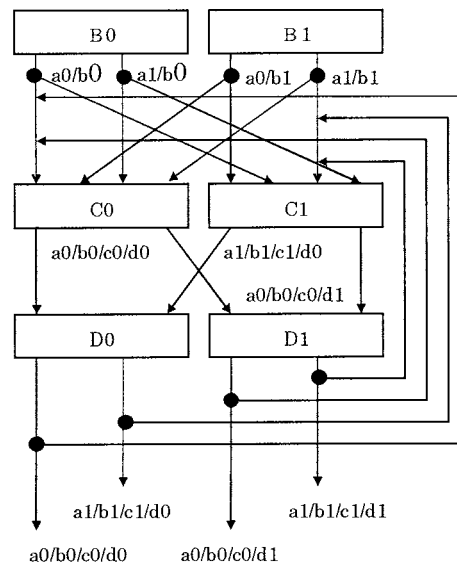


図 7 再帰処理

入力に関しても行う必要があるため、A 0 / B 0 / C 0 / D 0 検査処理と A 0 / B 0 / C 0 / D 1 検査処理の 2 つに分けて行われる。また、実行処理に関しては、A 1 / B 1 / C 0 の実行は行わず、A 0 / B 0 / C 0 / D 0 実行処理と A 0 / B 0 / C 0 / D 1 実行処理の 2 つの実行を行う。同様に、バージョン C 1 ではバージョン組合せ A 1 / B 1 についての検査は、A 1 / B 1 / C 1 / D 0 検査処理と A 1 / B 1 / C 1 / D 1 検査処理の 2 つに分けて行われ、実行もこれに対応する A 1 / B 1 / C 1 / D 0 実行処理と A 1 / B 1 / C 1 / D 1 実行処理の 2 つの実行を行う。このようにして、この構成では、バージョン組合せのデータの一貫性を保つとともに、実行バージョン数を抑止する。

5.2 対話処理

システムから出力されたデータを基に、システムの処理に対して、例えばオペレータ等が対話的に処理を行う例について述べる。この場合、システムへ入力する情報が、代替バージョンへ反映されずに失われると、システムからの出力に一貫性がなくなる恐れがある。これを防止する構成を図 6 に基づいて説明する。運用系組合せの各バージョン実行時において、運用系のバージョンのコピー処理部は、対話的な操作により永続性データの変更があった場合には、各々自バージョン実行プロセッサと異なるプロセッサに属する中間バッファまでその永続性データの変更内容を書き出して

おく．そして運用系組合せに障害が発生しバージョン組合せの代替を行う場合には，待機系組合せは，運用系がその時点までに中間バッファに書き出している永続性データをコピー処理部により永続性データ記憶領域に取り込んで使用することとし，一方，直前ステップからのデータのうち一過性データのみを受け入れ，これら両者を組み合わせでデータベースを構築し，運用系としての処理を開始する．つまり，待機系組合せの直前ステップから入力されたデータのうち永続性データは対話的操作が反映されていないおそれがあるため廃棄し使用しない．または，待機系組合せの直前ステップから入力された永続性データのうち中間バッファに格納されているデータと重複するものがある場合には，対話的操作が反映されている中間バッファのデータを優先して採用し，入力された方の永続性データは廃棄し使用しない．なお，対話的な処理を行う例として，代替組合せへの引き継ぎに対するデータ厳密性の必要度が緩やかであり，運用系組合せにて割り当てた内部番号などを入力に用いることがなければ，対話的操作により運用系組合せに入力されるのと同じデータを並行して待機系組合せにも入力するという方法をとることができる．これにより，前述のような運用系が永続性データを常時書き出すという処理を省略しつつ，十分な効果を挙げることかできる．

6. システムのバージョンアップ

本提案システムは，上述のデータ処理装置のように当初からソフトウェアのバージョンを独立に複数作成し，耐故障性の向上により信頼性を上げる目的だけでなく，既存データ処理装置の改修などにおけるバージョンの変更時に作り込まれる予測困難な障害発生原因によるシステムダウンを防止する目的にも応用することができる．

例えば，システムに致命的障害とならないが，運用に影響を与えるバグが運用プログラム中に発見されたとき，修正を行い一通りの検査をして運用系に組込むが，開発時と異なり修正が与える影響をすべて把握できず，修正が別のモジュールに影響を与えてしまい，却って致命的システム障害の原因を作り込んでしまうということが，実際のシステム保守の場面において往々にしてある．

このため，新しいバージョンの運用を開始して

も，しばらくは旧バージョンを温存しておき，新バージョンで問題が発生すれば，とりあえず旧バージョンに切り戻す余地を残すという対策がとられることが一般的である．

しかし，クリティカルなリアルタイムシステムの場合，障害の発生そのものが大きな影響を与えることがある．本提案の手法を用いることにより，新旧バージョンを並列化して動作させることにより混乱を防ぐことができる．

7. まとめと課題

本提案の手法は，どちらかというと，Nバージョン法の変形である．Nバージョン法を改良した手法については，文献[3][4]などに見られる．いずれもソフトウェアの開発コストを削減して，模擬的に多数決方式を実現しようとする方式であるが，誤ったモジュールを多数決で選択する可能性が残る，本質的な解決にはなっていない．

本提案では，処理の誤りを防止することを目的とせず，システム障害が社会的に重要な影響を及ぼすため，運用の継続を最も重視する，防衛システム，制御システムなどにおいて，ソフトウェアの開発コストの膨大化を抑えつつ，安全性を高める手法を目的としている．

なお，モジュールを細かく分断して行くと，理論的な安全性は向上するかもしれないが，構成の複雑化により，脆弱性が大きくなる可能性も懸念される．システムの規模に応じて，どの程度のモジュールに分割するのが適当か，今後分析を深めていく課題が残されている．

参考文献

- [1] 村瀬一郎,土居範久：情報社会の脆弱性について,情報処理学会誌 Vol.46.No.6 pp619-624 (2005.6)
- [2] 青野正宏他：ターミナルレーダ情報処理システム“ARTS”,三菱電機技報 Vol.68 No.10 pp.847-851
- [3] 特許庁：特開平6-342369号公報
- [4] 島和之他：モジュール交換手法によるマルチバージョンソフトウェアの信頼性向上,電子情報通信学会論文誌 Vol.197-D-1 No.9(1996.9) (平成17年6月23日受理)

東京工業高等専門学校研究報告書

第 37 (1) 号

平成17年度

平成17年9月1日発行

編 集 者 東京工業高等専門学校図書委員会

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.