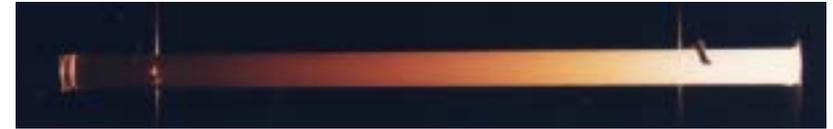




高校生へのサイエンス・レター

宇宙通信

中井 仁



口絵 1 . 第 8 話「赤い火星の夕焼けは青かった」



口絵 2 . 第 8 話「赤い火星の夕焼けは青かった」(NASA)



口絵 3 . 第 1 8 話「月食を見ましたか？」



口絵 4 . 第 2 4 話「島原・普賢岳」



口絵 5 . 第 2 4 話「島原・普賢岳」

前書き

私は、大阪の高等学校で理科の教師をしています。仕事の傍ら、地球の磁気圏についての研究をしてきました。学会で研究発表をしたり、論文を書いたりしている過程で、いろいろ経験したり考えたりすることがあります。そういう事を生徒諸君にも伝えられたらと思って、「宇宙通信」という題のサイエンス・レターを発行することにしました。発行すると言っても、コピーを理科教室の前に置いて、自由にとってもらうだけです。

この本は、1996年3月発行の第1号から、2005年1月発行の33号までの「宇宙通信」に載せた記事の中から、比較的まとまりの良いものを選んで編集しました。ほとんど、元の記事のままですが、その後の状況の変化に即して、書き加えたものもあります。

上にも書いたように、生徒諸君に読んでもらうことが主たる目的ですが、自分自身の日記の代わりでもあります。事実、記事を書いた頃のことを思い出しながら編集作業するのは、大きな楽しみでした。記事中に本校とあるのは、1991年から2005年まで勤務した大阪府立茨木高校のことです。記事を読んできた生徒の中には、「宇宙論についても書いて欲しい」とか、「宇宙通信まだ出ないの?」と、催促してくれた人もいました。

それらの思い出に・・・。

2005年5月末

目次

1 . こわしてたてる	8
2 . 宇宙嵐通信衛星を破壊か?	10
3 . 成功する科学者とは	12
4 . ボルタとオーム	14
5 . 読書案内「火星の人類学者」	17
6 . 「月に思う」に思う	19
7 . 女性科学者	20
8 . 赤い火星の夕焼けは青かった	22
9 . アーサー C. クラークの夢	24
10 . 「タイタニック」	27
11 . 「宇宙へ行こう」	29
12 . 宇宙科学研究所訪問記	31
13 . 地震予知に関する諸問題	33
14 . 玄倉川の水難事故	35
15 . 宇宙論はファンタジー	38
16 . ジオテイル計画	47
17 . ぼけた話	51
18 . 月食を見ましたか?	53
19 . 秋です、ちょっと哲学	55
20 . 科学技術庁にF旗を	58
21 . 「チャレンジャー」事故	62
22 . もう一つのチャレンジャー	65
23 . 読書案内「水俣病の科学」	68
24 . 島原・普賢岳	71
25 . ワシントン大学のアライグマ	77

26 . 読書案内「脳の中の幽霊」	81
26 . 科学論文を出すには	86
27 . 「すきやき」と「SUKIYAKI」	92
28 . みどりの遭難	94
29 . 気候への人的影響	96
30 . 「おばあさん仮説」	98
31 . 地球惑星科学と文明	100
32 . 三大発見 “ Earth, Energy, and Environment ”	102
33 . 最近の太陽系事情	104
34 . 「心の起源 - 生物学からの挑戦 (木下清一郎著)」 を読んで考えたこと	107

なんでもないことをみつけるには、
ちゅういぶかいところが、いる。

谷川俊太郎

こわしてたてる

本校は二年前に旧校舎が壊され、同じ敷地に新校舎が建築された。工事の前に埋没文化財の調査がされ、グランドの下からかなりの規模の平安時代の遺構が発見された。京都と大阪の間の淀川中流域に位置する立地だから、地下を掘れば何か遺跡が出てきても不思議ではない。遺跡には建物の柱跡や、井戸まである。井戸から木管が伸びていて、どうやら上水設備だったらしい。釉薬をほどこされた土器なども出土して、中世の人々の暮らしが想像された。もしかしたら、この建物跡は、当時の学校だったのではないかなどと、勝手な想像を楽しんだ。

おそらく、この敷地内ではすくなくとも千年の間、人々が建物を建てては、壊したりあるいは壊れたりして、また建てるということを繰り返してきたのであろう。そのようにして、土地という有限の資源を何代にも渡って活用してきた。

ところが壊すに壊せない建造物が出現した。原子炉である。東京電力、関西電力、日本原子力発電の3社は、1998年2月に、稼働して30年近くたつ原子力発電所について、「補修や、点検を適切に行えば、運転を続けても安全性に問題ない」とする評価を盛り込んだ報告書を、通産省・資源エネルギー庁に報告した。これまで30~40年とされていた耐用年数を、大幅に越える60年程度の運転を想定した安全評価である。

この報告の背景には、原子炉解体の困難と、新規立地の困難さがある。技術が進歩しての耐用年数の延期ではなく（そういう部分もあるだろうが）、原子炉内に蓄積された放射能のために壊せないからというのでは、この先の安全

性が保証できるのかはなはだ不安である。もうこれ以上地球上で、壊すことのできないものを作るべきでないと思うのだが。

(1996年6月)

宇宙嵐通信衛星を破壊か？

1997年の1月11日米国の有力紙ワシントン・ポストが、AT&T社の通信衛星テルスター401が突然交信不能に陥ったと報じた。当時大規模な宇宙嵐が発生しており、その影響で致命的な故障が同衛星に生じたと推測された。

この宇宙嵐は、1月6日、世界標準時17時30分に、太陽表面で発生したCME (Coronal Mass Ejection :太陽表面から陽子、電子、ヘリウムイオン等が突然爆発的に放出される現象。コロナ物質放出と訳されることが多い)によって引き起こされたものだが、宇宙嵐としてはごく月並みな規模のものだ。しかし、おりしも4年間の国際太陽地球間物理プログラム (ISTP) の期間であったため、その発生から終末までが数多くの観測衛星によって追跡された最初の宇宙嵐となった。ISTPは、米国、ヨーロッパ諸国、ロシア、ならびに日本が、独自に、または共同で打ち上げた衛星を太陽と地球の間に計画的に配置することによって、宇宙嵐等の現象を詳細にとらえようとする国際プロジェクトである。

太陽表面で発生したCMEは、激しい磁気の乱れ(磁気雲)と高エネルギー粒子を伴って、ちょうど地上で大規模な爆発が起きたときに発生する爆風のように、太陽系空間に広がった。1月10日に地球を飲み込んだ時には、磁気雲の直径が地球半径の約4千倍になったと推定されている。このとき地上からは激しいオーロラが観測され、放射線帯の粒子密度は直前のレベルの百倍以上に達した。テルスター401の故障は、このような宇宙嵐のさなかに発生した(11日、世界標準時11時15分)。

テルスター401は、テレビネットワーク、電話、コンピ

ュータのデータ通信等に使われていた人工衛星で、打ち上げにはおよそ 200 億円かかっている。AT&T 社のスポークスマンは、衛星との交信が不可能なため故障の原因を特定できないと言っている。しかし、多くの宇宙科学者は、宇宙嵐によってなんらかの致命的損傷を受けたと見ている。

問題の宇宙嵐のとき、米国の国立海洋大気研究所 (NOAA) の宇宙環境センター (SEC) は、磁場擾乱の注意報、および高エネルギー電子危険レベルの警報を発した。常に複数の人工衛星を管理運営している米国では、宇宙天気予報はすでに実用段階に入っていて、通信関係ほか電力会社などが利用している。変わったところでは、オーロラツアーを企画している旅行社や、伝書鳩愛好者などの利用がある。磁場が乱れると伝書鳩が行方不明になることがあるらしい。

注意報や警報というと天気予報を連想する。宇宙天気予報は、まだ始まったばかりである。一方、気象の方の予報は、百年以上の歴史がある。ドイツ人のブランデスがヨーロッパ全域に亘る気圧配置図を描いたのが、史上最初の天気図とされている。書かれたのは、1820 年のことだった。この天気図を基に、彼は、時折襲ってくる嵐が、広範囲に渡る気圧配置が原因となって起こることを明らかにした。その後、天気予報というものが可能になったものの、当たらないことの代名詞みたいに言われる時期が長く続いた。しかし今日では地上と宇宙からの立体的な観測によって、信頼性の高い予報が可能になってきた。

現時点における、宇宙天気予報は、1820 年における天気予報と似たような状況にあると言えるかもしれない。未来には、宇宙天気予報を聞いてから月まで出かけるということもあるかもしれない。 (1997 年 5 月)

成功する科学者とは

「成功する科学者は往々にして良い科学者だけれども、良い (あるいは極めて良い) 科学者が必ずしも成功するとは限らない、「成功」が専門分野における業績とその国際的認知を意味するとすれば。

では、どのような人が成功する科学者足り得るのか。彼らは自分やっていることが根っから好きで、他人がなんと言おうと気にならない。その結果、時として社会性に欠けることがある。彼らは、彼らがやっていることについて極めて忍耐強い。彼らの研究分野についてのバイブルを書いた灰色の髪の権威の言うことであろうと、彼らは、彼ら自身が考えることを信じる。いったん、世界中の研究者が間違っていて、自分が正しいと思えば、出ていって世界を説得しようとする。彼らは、話言葉でも書き言葉でも、極めて効果的に自分の考えを述べる。最後に、彼らは時間を忘れて働く。」

以上は、カナダの宇宙物理学者 ゴードン・ロストーク教授の「成功する科学者になるためには」と題されたエッセイの要約である。自己主張の重要性を、特に強く指摘しているようだ。教授とは、国際会議の席などで何度かお会いしている。名古屋大学の太陽地球環境研究所でお会いしたとき、私が長年腰痛で困っていることを知った教授は、いきなり研究室のリノリウムの上に寝ころんで、腰痛体操を実演してくれた。暖かい人柄が感じられた。そのあと、私の研究成果について彼に説明して議論をしたのだが、さすがに学問上の議論となると頑固で手厳しかった。

話を本題に戻そう。

電流と電圧の関係、すなわちオームの法則が発表された

のは 1827 年だが、今では中学生が習う基本法則が世の中に認められるのには、それから 14 年かかった。オームにとっては決して短くない年月であったろう。宇宙の巨大泡構造を発見したマーガレット・ゲラー女史は、彼女の新説に対して投げかけられた他の天文学者達の冷たい目に耐えなければならなかった。しかし、ただ耐えていただけではなくて、二人ともあらゆる機会をとらえて自説の宣伝拡大に勤めたのだらう。アイデアが画期的であるほど、ねばり強く、繰り返し、説得しなければ世界中の研究者を納得させることはできない。(オームの法則が画期的なものであったことについては、次稿の話題にしよう。) その点、日本人は「知る人ぞ知る」といって、世界を説得する努力を一段低く見る傾向がありはしないだろうか。

科学は、研究者間の競争ではあるが、同時に人類の歴史を通しての共同作業でもある。共同の場へ出て行って自分のアイデアを述べることは、一つの使命である、と言い切るほどに自己を信じることができれば、君は成功する科学者の資格を一つ持ったことになる。

(1997 年 5 月)

ボルタとオーム

前稿でオームの法則に触れたので、物理の授業で紹介する話をここにも書いておこう。(補注:「宇宙通信」には、原則として授業で触れる話題は書かなかった。この稿は、本書の編集にあたって新たに書き加えた。)

電流 I (A) と電圧 V (V) の間には、 $V = RI$ の比例関係がある。比例係数の R () は電気抵抗と言われる。この法則を見て、「昔の人は、こんな簡単な法則を発見して、単位に名前が残るぐらい有名になれるのだから得だ」と思う人もあるかもしれない。しかし、オームの時代の状況を考えれば、それは思い違いだと分かる。オームが、1827 年にこの法則を発見したとき、世の中には電流や電圧という考え方自身が、はっきりとは無かった。オームは、電流計と電圧計を自作して、電流と電圧を測定したのである。オームが、自作の測定器で計った量の間、きれいな比例関係があると発表しても、他の科学者には「それがどうした?」としか反応できなかったのであろう。つまり、オームは、電流と電圧の間の比例関係を発見しただけではなく、電流と電圧という考え方(概念)そのものを発見したのである。この新しい考え方の重要性に気づくのに、オーム以外の人は 14 年かかった。

授業では、オームの話題の前にボルタの電池を紹介する。ボルタは、電位(電圧)の単位(ボルト)にその名前が残っている。ここでも、一つのを発明しただけで単位に名前が残って、やっぱり昔の人は得だと思われるかもしれない。しかし、ボルタの場合も名前が残るだけの理由があるのである。

ボルタが、亜鉛板と銅板で電解質溶液にひたした厚紙を

挟んだものを重ね合わせて、いわゆるボルタの電池を作ったのは1800年である。オームの法則発見の27年前のことである。それ以前から、たとえば1785年にクーロンが静電気力の法則を発見するなど、電気の研究はされていた。また、高電圧の摩擦電気をを用いた放電実験は、貴族のサロンでは人気の見せ物だった。しかし、放電は電荷の瞬間的な流れであって、ボルタの電池の発明以降に研究された、定常的な電荷の流れではなかった。つまり、ボルタの発明は、単に電池という一つの便利な物を発明したというだけでなく、定常的な電荷の流れ、即ち電流を、人類にもたらしたのである。

ボルタの発見物語には続きがある。科学史の年表を見ると、ボルタの電池の発明は1800年3月20日である。それから1ヶ月あまり後の5月2日には、ニコルソンとカーライルがボルタの電池を用いて、水の電気分解を発見している。ボルタの発明が、科学の発展に大きな影響を与えたことは、この例を見ても良く分かる。ボルタはイタリア人で、ニコルソンとカーライルはイギリス人である。このボルタの電池と電気分解の発見の関係をみると、この時代、18世紀の終わりから19世紀の初めにかけてのヨーロッパでは、科学に関する情報がすばやく伝わっていた、ということも分かる。それにも関わらず、前項に書いたように、オームの法則が認められるのに14年かかった。いかにオームが考えた電流 - 電圧の関係が、当時としては斬新なものであったのかが想像できる。その画期的なオームの発見も、ボルタの業績があって初めて可能になったことを、忘れてはならない。

ボルタの発明以後、電池は改良を重ねられたが、今日の生活に欠かすことのできない乾電池の発明が日本人の手

になるものであることは、あまり知られていない。それまでは、電解質溶液として硫酸や水酸化カリウムが用いられていたため、容器を傾けることは危険であった。1926年、屋井先蔵は、危険性の少ない塩化アンモニウムの飽和溶液をデンプンとこね合わせて、ボール紙にしみ込ませることによって、乾電池の原型を作ったのである。

(2005年7月)

読書案内

「火星の人類学者」 O・サックス著

著者は脳神経科医で、映画にもなった「レナードの朝」作者である。脳神経に障害をもつ七人の患者の、興味深い能力について、生き生きとした筆致で紹介している。

視覚障害者は、触覚によって物を見る。そのとき物体の各部分の触覚は、時間的なずれをともなって脳に伝えられる。彼らは、「時間の流れにしたがって、認識してきた人たち」である。たとえば、自分の家の構造は、このテーブルが現れて、何秒か後に玄関ドアが現れるという具合に、空間的広がりの中ではなく、時間的な流れの中で認識される。一人の男性は、長年視覚障害でほとんど目が見えなかったが、あるとき外科手術によって視力を回復した。そんなとき男性は、物体の「同時的な認識」をする必要に迫られるが、これがなかなか容易にはいかないようだ。人を見て、目や耳や鼻を識別することはできるが、顔全体として見分けることが困難になる。そんなとき、相手の顔に触らせてもらおうと、「あ、x xさん」と、初めて分かるらしい。

脳医学によると、脳には様々な形を認識する部分がそれぞれ別個にある。つまり三角形と円の認識は、それぞれ脳の別の部分が分担している。これら別個の領域が認めた形を合成して、一つの物体として認知する能力は、生まれたときから備わっているわけではなく、成長の過程で獲得していくものらしい。ここから先は私見だが、それには、先の元全盲の患者の例から推測するに、触覚が大きな役割をもっているのではないだろうか。目の見え始めた赤ん坊が単純な形をしたおもちゃに手を出して、もちかえたりして遊ぶのは、そのような学習に欠かせない動作と言える。反

対に、テレビ画面を子守かわりにして大きくなった子どもの場合、視力を回復した元全盲の患者が絵に描かれた物を識別できないように、物体の全体的把握能力の発達に遅れが生じる恐れがある。

チンパンジーの生態研究で有名なジェーン・グドールが、本書の著者サックスに会ったとき、「自分は人の顔を覚えられなくて困っている」と訴えた。すると、彼は、「自分もそうだ」と答え、後に「相貌およびパターンの発達の記憶障害」という論文を送ってくれたそうだ（「森の旅人」ジェーン・グドール著）。実は私もそうで、知人かと思って全然別人に話しかけたり、知っているはずの人に知らぬ顔をして、生意気なやつだと思われたり。人間関係において、多大な不便を被っている。特に、生徒の顔を覚えられないのは、職能に関わるから、問題は深刻だ。

ところで、ジェーン・グドールはチンパンジーに名前を付けているが、チンパンジーの顔は識別できるのかしら。
(1997年10月)

追記。 養老孟司氏があるテレビ番組で、小学校高学年の児童が描く絵が、かつての低学年並になってきたと述べていた。（彼の著作「バカの壁」には、その主張の根拠となる三沢直子氏の研究が紹介されている。）実際、例に示された絵を見ると、そのような傾向が伺われる。上に書いたことから言って、テレビゲームで一日の大半を過ごすようなことをしていると、十分に考えられる変化だ。

(2005年5月)

「月に思う」に思う

教育タイムスというお堅い新聞がある。実はそれが週刊新聞であることも今回初めてしったほどにほとんど読まなかったのだが、7月23日号の一面の表題「月に思う」に惹かれて記事を読んだ。

1969年7月21日、アームストロング船長以下3人を乗せたアポロ11号が月面に降り立ったとき、国連加盟各国からのメッセージが金の板に彫ったものを持っていったらしい。その記事に、メッセージの一部が紹介されていた。

何でも一番が好きなアメリカは、「我々は今、フロンティア精神の勝利の証として、ここに立った！」。イギリスは、「我々は地球の原点から月の原点にやってきたぞ」と、いささか意味不明げみ。統一前のベトナム共和国は、「月よ！ あなたは笑っているだろう。小さな地球の、そのまたちっぽけな国が、二つに割れて戦争しているなんて！」というメッセージを送った。

一番すてきなのは、「お月様、あなたは知らないでしょう。ヤシの葉陰をゆらゆら昇る、あなたの美しさを」。これを書いたのは、当時最も新しい国連加盟国ガーナだった。

こんなのもありました。「われわれ、国民は、人類が始めて月に行くことを心から祝福します。」に国名を入れてください。だれ？ これ書いたの。

私なら、「久しぶりだね、かぐや姫」、というところか。君なら、どんなメッセージを送りたい？

(1997年10月)

女性科学者

物性物理学の研究で1984年の猿橋賞(優れた女性科学者に贈られる賞)を受賞した米沢富美子氏は、本校の卒業生の一人である。その関係で、校舎の改築を祝う催しの一つとして招かれ、後輩である在校生のために体験を交えた講演をされた。彼女が、京都大学理学部に入学した当時、定員50人中で女性は彼女1人だったということだ。京都大学理学部に聞いてみたところ1997年度入学の学生は326人、そのうち女性は23人であった。増加はしているものの、やはりまだまだ少数派である。

物理分野の女性科学者としてはマリー・キュリーが断然有名だが、彼女に勝るとも劣らない業績を上げたのが、ほぼ同時代人のリーゼ・マイトナー(1878年~1968年)である。最近、「リーゼ・マイトナー 嵐の時代を生き抜いた女性科学者」(R.L.サイム著)が出たので、詳しくその生涯を知ることができるようになった。ちなみに米沢富美子氏が監修にあっている。

その本に次のエピソードが紹介されている。原子モデルの提唱で有名な英国人のアーネスト・ラザフォードがある時ドイツを訪れた。その時、マイトナーは、上司からラザフォード婦人の買い物の付き添いを命じられた。彼女自身は、博士と研究の話をしたかっただろう。しかし、マイトナーがほんとに悔しい思いをかみしめなければならなかったのは、この出来事ではなかった。彼女は、第二次世界大戦前から戦中にかけてウランの核分裂の研究で指導的な役割を果たすのであるが、戦争後にノーベル賞を与えられたのは、彼女の共同研究者であったオットー・ハーンのみであった。岩波ジュニア新書の「定理・法則をのこした

人々」(1981年発行)は、歴史的な業績を上げた人物のことを手軽に参照できる好著だが、この本にも、ハーンが核分裂の発見者として一章を割いて記載されている。しかし、マイトナーの名前は、研究協力者としてハーンの章に一回出ているだけである。

地球物理関係からも、大きな業績を上げた女性科学者を一人あげよう。インゲ・ルマン(1888年-1993年)は、マイトナーよりさらに人に知られるところは少ない。地球は、中心からおよそ3500 kmまでの鉄を主成分とする核と、その外側にある厚さ2900 kmの岩石質のマントルによって構成されている。地震波の伝わり方の特徴から、核は液体の性質を持つことが知られている。彼女は、その核のうち中心から1300 kmの部分が固体の性質をもつことを発見した。それ以後、核を内核と外核に分けて考えるようになった。彼女は、女性科学者として生きることの厳しさを、こんな風に言っている - 「戦う値打ちのない多くの男達を相手に、私が無駄に戦わなければならなかったことを、あなたは知るべきです。」米国の地球物理学会はインゲ・ルマン賞を設けて、彼女の功績に答えている。

冒頭の米沢富美子氏の話に戻ろう。日本物理学会が彼女を1997年度の会長に選んだときは、アカデミックな社会への女性の進出の表れとして歓迎された。氏自身、「私が女だということを気がつかないで選んでくれた、(男性)会員を誉めてやってください」とユーモアを交えて言っている。高校在学中の運動会の際、応援団をやった動機が失恋だったというエピソードは、「めげない」「一歩踏み出す」という彼女の生き方を象徴しているようだ。やはり時代は確実に女性の方へと傾斜して行っている。ゆっくりとだが。

(1997年11月/2005年5月加筆)

赤い火星の夕焼けは青かった

化学科のT先生に、先生苦心の作である「夕焼けパイプ」を見せてもらった。直径8 cm、長さ1 mの亚克力・パイプに水とワックスを混合したものを封入してある(口絵1)。パイプの右側から白色光線を当てて側面を見ると、パイプの光線が入ってくるほうは薄青く見えるのに、反対の端にいくに従って、ピンクがかった色に見えてくる。ピンク色の方の筒先から見ると、まさに夕焼けのだいたい色である。この装置は、波長が短い光ほど散乱されやすいという光の性質を利用している。色々な波長のまじった白色光線からまず波長の短い青い光が散乱され、パイプの端に光が到達するときは主に波長の長い赤い光が残っているため、夕焼け色に見えるのである。実際の夕焼けの場合は、太陽が地平線に近づいて我々の目にとどくまでに太陽光線が通過しなければならない大気層が厚くなって、青い光が目が届きにくくなるためである。

火山が大噴火をして大気中に火山ガスが注入されると、夕焼けの色は特に濃くなる。1991年6月にフィリピンのピナツボ火山が20世紀最大と言われる大噴火をした。その年の暮れから翌年にかけて、晴れた日の夕方には見事な夕焼けが見られた。

米国の惑星探査衛星マーズ・パスファインダーが撮影した火星の夕焼けの写真(口絵2)が、NASAによって発表され、新聞紙上を飾ったことがある。写真を見ると、地平線の上に太陽が輝いていてその周辺が、ほんのり青く色づいている。火星の大気は平均6.1 hPa(ヘクトパスカル)と、地球の1013 hPaに比べると極めて薄いから、大気による太陽光の散乱は弱い。だから太陽が地平線に近くまで傾い

て初めて、空の一部がほんのり青く見える。これが、火星の夕焼けが青く見える理由だと考えられる。おそらく太陽の高度が高い間は、太陽だけがキラキラと輝き、空の他の部分は真っ暗だろう。

火星が赤い大地の惑星だということは知っているし、火星の大気が地球よりずっと薄いということも知ってはいる。でも、その赤い惑星に立ったとき、空がどのように見えるかなんて考えもしなかったなあ、というのが私の写真を見たときの感想だ。火星の青い夕焼けを、何人の人が頭に描いただろうか。

アポロ 11 号が月面着陸を果たすまで、月面では大気がないから昼間でも星が見えると、多くの人が思っていた。ところが、実際行ってみると、見えなかった。地面その他から反射してくる太陽光が強くて、星の淡い光は見えないのである。

こんな具合に、知ったあとで理屈を考えることは比較的やすい。しかし、未知の環境におかれたとき、どのような現象が観測されるかを予想するのは難しい。ついつい、今自分がいる環境から物事を考えてしまうからだろう。逆に言うと、科学的な知識と少しの想像力、これがあるといろいろな世界が広がる。

(1997年12月)

アーサー C. クラークの夢

世界的に著名なSF作家 A.C.クラークの、伝記的番組がTVで放映された。80歳(1998年現在)、スリランカ住まい。望遠鏡のドームが自宅にあって、テレビカメラ付きの望遠鏡で居間にいながらにして天体観測ができるようになっている。彼のせりふが、かならずすてきな笑顔で終わるのが印象的だった。番組最後のせりふは「もっと楽天的に考えましょう、そこからすばらしい未来が生まれるのです」。彼の作品の明るさは、こんな個性から生まれるのだろうか。

昨年(1997年)秋にクラークの最新作「3001年」を読んだ。クラークはアシモフ亡き後、SF界の第一人者である。この「ODYSSEY」(長期の放浪、冒険旅行という意味)シリーズは、「2001年」を皮切りに「2010年」「2061年」と続いて来た。「3001年」が、一応完結ということになっている。大筋は、人間をはるかに越える超生命体が太陽系を舞台に、生命実験をやっているというもので、その設定自身は目新しいものではないが、そこに描かれる社会、人間とテクノロジーの関係などが、非常に示唆的である。「2001年」「2010年」は、映画が作られているが、それらの原作は、始めから映画化をめざして書かれた。「2001年」は、筆者が高校生のときに封切られ、友人と見に行ったが、「ようわからん映画やなあ」と言って帰った記憶がある。しかし、今では歴史的なSF映画という評価を得ている。

「2010年」のほうはストーリーが明快でおもしろく、「2001年」の謎解きにもなっている。また、描かれた木星の世界は大変印象的だ。

拙書のタイトルにもなっている宇宙通信のアイデアは、

クラークが最初に考え出した。母親がモース信号を打つ仕事をしていて、子供の頃から通信の世界とはなじみが深かったらしい。それにしても、すばらしい先見性の持ち主である。彼が戦後すぐに宇宙時代の到来を告げるために書いた小説は、今のスペースシャトル方式の宇宙開発を描いている。つまりアポロ計画のように直接月や火星へ行くのではなく、地球の周りを回る宇宙ステーションを基地としてそこから宇宙へ旅立つ。そして地上と宇宙ステーションの間をスペースシャトルが結ぶという方式である。アポロ計画のさなかでも、その華々しい成功の裏に、このやり方では経済的に成り立たないという批判があった。現在はご存じのように、クラークが描いたような方向で、宇宙開発が進められている。彼が、「現代の予言者」と言われるゆえんである。

しかし、こういうこともあった。この小説で語られる技術は、真空管をベースにしたもので、彼は、真空管が発する熱の処理が最大の問題だと、登場人物に言わせている。もちろんこれはトランジスター、ICの開発で解決されるわけだが、現実のテクノロジーの進歩が、クラークの想像を超えたといえる。

「3001年」では、「1000年前の人が、現在のテクノロジーを見て驚くほどの変化は、次の1000年の間には生じないだろう」というのが基本的な考え方である。大きなパラダイムの変化は生じないという事だろうか。しかし、現在の延長としての技術革新は当然予想されていて、ブレーンキャップ、無慣性駆動という二つの新しいテクノロジーが登場する。前者は、頭で考えたことを直接、相手にアップロードする装置。また相手の思考を直接自分のほうにダウンロードできる。こういう装置の出現によって、社会がよ

り論理的に機能していくと彼は述べている、しかし、彼はそれと同時に、人間の個性が希薄になっていくとも言っている。これは、未来の人間社会についての重要な示唆となる可能性がある。後者は、乗っている人が全く加速を感じない乗り物である。これは荒唐無稽な物ではなく、重力によって駆動される時（つまり自由落下するとき）人は加速を全く感じない。そのほか、エネルギー源としては真空エネルギー（ゼロポイント・フィールドもしくは量子ゆらぎ）が提唱されている。これも基礎物理学で真剣に検討されているテーマだ。

これらのうち、どれが実現されるのか、とうてい見届けることはできないが、そのかわり、数百年前の人々が描いた夢の実現を我々は今、目撃しているといえる。たとえば、ヨハネス・ケプラーは、400年前、月旅行を「夢」（彼の著作の名前）見たが、その夢が我々の世紀で実現している。SFが現実の社会に果たしている役割は、想像以上のものがある。あらゆるテクノロジーはだれかの夢の産物と言っていいだろう。

しかし、「だから」と言っても良いが、いくらテクノロジーが進んでも人間は人間でありつづけるだろう。「3001年」の最後のパラグラフで、クラークは、彼の宗教観をこんな風書いている。「どのような神的なあるいは霊的な存在が、星のかなたにひそんでいようと、人間にとって重要なことは2つしかない 愛 と 死 だけだ」。80歳になるクラークの、実に明快で力強いメッセージだ。

（1998年3月）

「タイタニック」

映画「タイタニック」を見た。ドラマへの興味もさることながら、コンピューター・グラフィックスの見事さに感心した。十数年前、近所に住んでいた米国人が北欧系の名前だったので、「先祖は北欧系か」と聞くと、祖父（あるいは曾祖父だったか）がノールウェイから米国に移住したが、乗ったのはタイタニック号の便前の船だった、と言っていたのを思い出した。もしお祖父さんが乗ったのがタイタニックだったら、今の君はいないかもしれない、と言ったかどうか、今はおぼえていない。

*

*

イタリア人、ガブリエル・マルコーニが大西洋を挟んで無線通信に成功したのは、1901年のことだ。その後、無線通信事業が始まるが、その普及に拍車をかけたのは、1914年4月14日、タイタニックの「マルコーニ・ルーム」から発せられた「SOS」の通信だった。

直進するはずの電波を用いて、丸い地球の上で遠距離通信が可能なのは、高度80km以上に存在する電離層のおかげだ。電離層が、光に対する鏡のような働きを電波に対してしているのである。英国人のヘヴィサイドが1902年に、そのような反射層の存在を仮説として提唱したが、他の人にはたやすく理解されなかったらしい。それを受け入れるには、異才ヘヴィサイドと同等の想像力を必要としたのだろう。彼は、エネルギーと質量の有名な関係式、 $E = mc^2$ をアインシュタインより15年早く発見したという。

電離層の存在は、1924年アップルトンとパーネットによって確認された。実用的な技術が先行して、後になってその技術が可能なる理由が解き明かされた。他にそのような例

は、寡聞にして知らない。

*

*

マルコーニなんて昔の人で、自分にはなじみがないと言う人もいるだろう。そう言う人も、しかし、テレビを見るときや、ラジオを聴くときには、マルコーニのことを思うべきである。多くの放送局が発する電波を一つだけ選んで増幅装置に取り入れる装置、チューナーを発明し、その特許で莫大な利益を得たのは、マルコーニその人だから。

(1998年6月)

「宇宙へ行こう」

「宇宙へ行こう」という広告がさる清涼飲料メーカーから出された。また新手のアミューズメントパークができたかと思って、かなり詳しい説明を読むと、なんと、本当に宇宙へ招待しようというのだ。スペース・シャトルによく似た有翼の「スペース・クルーザー」に搭乗して高度 100 km まで上がろうという計画で、2001 年の実施を目指している。(2005 年現在、実現したという話は聞かない。)

史上初の人工衛星スプートニク 1 号(1957 年ソ連)を打ち上げてから 50 年たらずで、いよいよ宇宙が観光旅行の場になるようとしている。英国宇宙旅行協会なるものが、1933 年に設立されてからなら 70 年、当時の夢想家達の夢が現実のものになるかもしれない。

現在、宇宙へ行く技術的な手段は、ほぼ手に入れたと言っているだろう。しかし、一般の人が宇宙旅行をするには、まだ解決すべき重要な問題が残っている。その一つは、宇宙の放射線による被曝の危険をどうするかである。宇宙での放射線被曝量は、地球からどれくらい離れるかによって違うが、人工衛星スカイラブ(米国)の例では、高度 435 km に 84 日間滞在して乗員は全身に 77 mSv の被曝をしたと推定されている。地表で 1 年間暮らし続けたときの平均自然被曝量(1 mSv)の 77 倍だ。米国の宇宙飛行士の被曝限度量は 500 mSv と決められている。しかし、それが適正な量なのか、人体はどの程度の放射線にまで耐えられるのか、それは、まだよく分かっていない。一説によると、4 Sv 被曝すると半数が 1 ヶ月以内に死亡すると言われている。さらに、宇宙には原子番号の大きな原子核の放射線も存在する。そのような重粒子放射線が宇宙船の壁と反応して、大

量の放射線が発生し、それがシャワーのように搭乗員を襲うという事態も考えられる。その結果についてはなにも分かっていないそうだ。宇宙医学は、この先、もっと力を入れていくべき分野の一つだ。

宇宙空間での放射線の状態をいち早く知るためには、先に述べた宇宙天気予報が必要になる。しかし、我々一人一人に必要なほどの、宇宙の時代が本当にくるだろうか。体重 50 kg の人を、1 万 m 上空まで持ち上げるのには約 5×10^6 J のエネルギーが必要だ。同じ人を、地球の重力圏から脱出させるのに必要なエネルギーは約 1×10^9 J だから、およそ 200 倍のエネルギーが必要だ。今のジャンボ・ジェットが大陸間を往復するように、惑星間ロケットが行き交うには、極めて単純に言って、世界経済の規模が、現在の 200 倍になる必要がある。熱機関の効率が上がれば、その数字は反比例して小さくなる。夢を抱けないほどの数字ではないかもしれない。しかし、同時にそれを念頭に置いて、今のお金の使い方を考えるほどには、確かなことでもない。

しかし、どうやら人間は、ただ生きていくというだけでは済まないようにできているみたいだ。人間は夢を捨てられないし、夢を見て、しかもその場所に安定しているということは、どうやら自己矛盾のようである。ヨハネス・ケプラーは、四百年前に惑星の運行の法則を見つけだして、想像上の月旅行を描いた本を残した。千年近く前の「竹取物語」も、人々の宇宙への思いを託したものだ。今の状況を、五百年前の大航海時代と比べて、第二の大航海時代の幕開けと見ることもできる。この夢は、実現させたいものだ。

(1998 年 6 月)

宇宙科学研究所訪問記

1998年7月4日に日本初の火星探査機プラネットBが鹿児島の内之浦から打ち上げられた。打ち上げ後、「のぞみ」と名付けられた同機には、27万人の名前が彫りつけられたプレートが装着されている。現在は、まだ地球の周りの周回軌道を回っていて、搭載された各種観測機器のテストを行っている。

「のぞみ」を地上からコントロールしている場所は、神奈川県相模原の文部省宇宙科学研究所（現、独立行政法人「宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所」）である。衛星管制の現場を見学したいと思って、以前から面識の有った京都大学のM先生にお願いしたところ、忙しい中を、ほとんど半日を費やして宇宙科学研究所を案内して下さった。M先生は、「のぞみ」に搭載された電子エネルギー測定器「Top Hat Analyzer」の開発・運用の責任を負っておられる。

学校の教室より少し狭いぐらいの広さの運用室には、数台のワークステーションが置かれている。長野県の臼田にある送受信設備で受信した信号を、この部屋でモニターして、衛星の状態を監視している。各種の観測器は、地上テストを繰り返した上で衛星に搭載されているが、打ち上げ時の振動や、地上では完璧には再現できない宇宙環境の中で、果たして予想通りに作動するかどうか、電源投入時には緊張するそうだ。

これまで米国、旧ソ連が行ってきた火星探査では、火星表面の地形や、生命の存在などが探査対象だったが、「のぞみ」の使命は、それとは異なり火星大気の探査が主である。大気圧で言うと地球の0.6%、成分はほとんど二酸化炭素で気温は摂氏-80度から-20度という、いささか魅力に

乏しいものだ。しかし、火星の表面には、大量の水が流れて形成された流跡地形があり、かつては濃い大気があって、液体の水が流れているほど暖かかったと考えられている。その大量の大気と水は、どこへ行ってしまったのかという問題は、我々の地球も含めて惑星の大気の歴史と未来を知る上で、大変重要な問題と言える。旧ソ連のフォボス2の観測によると、現在も火星からは大量の酸素が流れ出ているらしい。そのメカニズムを知ることも、今回のミッションの重要な課題である。

「のぞみ」運用室を見学した後、衛星を組み立てたりテストしたりする施設を見学した。組立棟では、天文衛星のアストロEの組立作業が行われていた。振動試験装置の前では、M先生から大学院生の頃の体験を聞いた。きちんとしめたはずの観測器のねじが、振動装置を作動させると、スルスルとねじ穴から出てきたときには驚いたという。

ある実験棟では、4人の大学院生（内、女性1人）が高出力レーザーを使った実験をしていた。こうして次代の科学者が育っていくのだな、と少し年寄り臭い感慨をもって実験棟を後にした。

（1998年9月）

（後記）2003年12月、電気系統の不具合のため、「のぞみ」の火星周回軌道への投入は断念された。研究所のホームページによると、その後は火星への衝突を回避することに力を注いだという。もともとランディングを予定していなかったため、もし衝突すると地球の生命を火星に持ち込む恐れがある。火星起源の生命の探査が行われている現在、それは絶対に避けることが、研究者の良心の証だからだ。

地震予知に関する諸問題

先月 12 日に茨木市のすぐ北にある亀岡で震度 4 の地震があった。新聞によると、名古屋工業大学のグループが茨木市北部に設置した、電波受信アンテナに昨年暮れから異常電波が検知され、同グループは茨木市に、亀岡断層系に異常が生じている可能性がある旨の通告を 1 月 19 日までに計 4 回出した、ということだ。

地震予知の可能性を伺わせる出来事だが、ここで少し先走って取り上げておきたいのは、地震予知がある程度の信頼性で可能になった場合、自治体は、地震情報を得たときにどのように対処すべきなのか。つまり、いつ、どのようにして、その情報を市民に伝えとよいのかという問題である。自治体の防災課は通報を受けて知っている。市長も知っているから、身内のものにはそれとなく注意したりするだろう。しかし、一般市民は知らないから、地震が起ってびっくりするということでは困る。警報の段階を定めて、出来るだけ早期に公表していくということを、検討していかなければならない。情報はその内容とともに、それを得るタイミングが非常に重要である。内容だけではなく、それを知らせる時期も含めた情報開示のルールが必要だ。

地震警報に関してのもう一つの問題は、警報が発せられたとき実際に避難その他の対処を実行する人が何割ぐらいいるかである。

台風の際には、暴風雨警報等が一般市民にも理解できる情報と共に繰り返し流され、家の周りの風で飛びやすい物を家の中に入れてたり、非常持ち出し品を確認したりなどの準備や、荒天を迎える心の準備ができる。それでも想像を超えた自然の猛威のために人命が失われることはあるが、

予報が無い場合に比べると、その被害の程度はかなり押さえられているのではないだろうか。

このように天気予報は、今日ある程度の信用を得ていると言って良いだろう。人がある情報を信頼するかどうかは、情報と経験との対比の、日常的な積み重ねによるところが大きい。天気予報の場合、日頃から天気予報と実際の気象との対比を通して、我々はそれぞれ予報に対する信頼性の尺度を持つことができる。つまり、一朝一夕に信頼が得られるものではない。天気予報も、当たりはずれの多い物の代名詞のように言われていた長い時期を経て、今日があるのだ。

地震予報の場合も、ある程度の予報技術が確立されれば、日常的に規模の小さい地震についても警報を流し、一般市民がそれぞれ信頼性の尺度を持つことができるようにするのが良いだろう。地震国日本では、そのようなおそらく予報をする側には大変厳しい経験を通して、地震予知に対する市民の信頼を得ていくことが必要だろう。巨大地震だけに焦点を絞って予知を行うのでは、いざ予知したとしても市民はそれを信じて行動を起こすとは限らないのである。

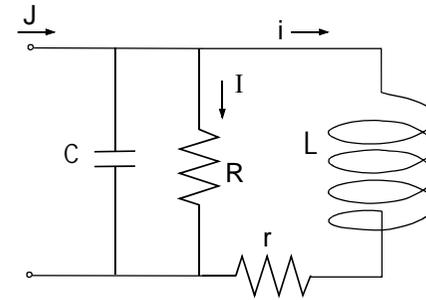
(1999年3月)

玄倉川の水難事故

夏休み最中の8月14日に、丹沢山地の玄倉川の中洲でキャンプをしていた人達が、豪雨のために増水した川に流されて死亡するという事故があった。中洲に取り残された被災者達をとらえた写真を見たときの衝撃が、今も心に強く残っている。新聞や週刊誌等から得た事故の経過は、以下のようだ。

- 13日
- 19:45 ダム放流警報(中洲から3人が避難)
 - 20:20 ダム上部調整ゲートから放流開始
 - 21:10 松田署員避難勧告
 - 21:30 ダム放流量 $11 \text{ m}^3/\text{s}$ (14日 06:00まで)
 - 22:40 松田署員がテントまで行って避難勧告
- 14日
- 05:35 大雨洪水警報。先に避難した人が、テントまで行って避難勧告
 - 06:30 ダム洪水はけ口から放流開始($40\text{-}50 \text{ m}^3/\text{s}$)
 - 07:30 松田署パトカー巡視(中洲は異常なし)
この後、水かさが急に増す
 - 09:00 レスキュー隊到着(中洲は水没)
 - 11:00 5分間ダム放流停止(この前後、最大 $111 \text{ m}^3/\text{s}$)
 - 11:30 18人が濁流に流される。

多分、被災者達は川が増水したときの怖さを知らず、雨と増水の関係についての知識がなかったのだろう。一般に、川に入って水が膝まできたら、その川を渡りきることは困難と言う。河床が不安定な上、水圧が横から加えられるた



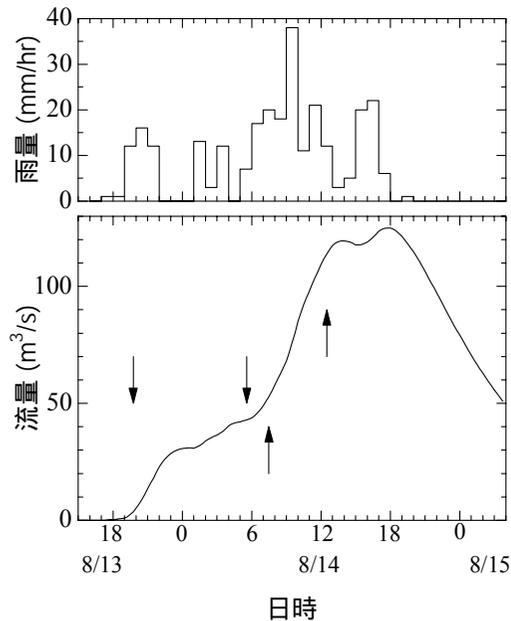
め、前に進むことが困難なのである。

雨と増水の間接的な関係を、コンピュータを使ってシミュレーションしてみた。川のことについての専門的な知識は無いが、水の流れは電気の流れ、つまり電流、とよく似たところがある

ので、事態を図のような電気回路に置き換えて考えた。降った雨(J)は、一部は地表を流れて直接川に流れ込む(i)。また、一旦地中(C)にしみこんでやがて川に流れ込む流れ(I)もあるだろう。Lは、コイルだが、これは雨が川に流れ込むまでの時間を再現するために必要である。Cはコンデンサーで、森林やその土壌が水をためる働きを表す。これらの量の間には、微分方程式で表される関係がなりたつので、その解を求めて、川の流域面積等の物理条件を与えると、川に流れ込む水を算出することができる。

次のページの上のグラフは、雨量の時間変化を表している。データは、横浜地方気象台から取り寄せた丹沢湖(事故現場の下流にある湖)のアメダスの記録から得た。雨の総量は、これに玄倉川の流域面積をかけて求める。図の下のグラフは計算の結果で、川の流量(I+i)の推定値が示されている。グラフの ~ は左の時間経過の表中の ~ と対応している。

図を見ると上流のダムはかなり早い時点から、流量の増加を見込んで手を打っていることが分かる。ダムの放流開始後、夜半から早朝にかけて徐々に流量が増しているが、証言によると、この時点ではまだ大人が川を渡って中洲ま



で行って帰れた。そのころのダムの放水量は 40~50 m³/s で、グラフの流量推定値とほぼ一致している。以後、水位が急増したという証言があるが、グラフでもその様子がうかがわれる。またグラフは、被災者が流された以降も 18 時まで流量が増加して被災者の捜

索を困難にしたことを物語っている。そのころダムの放水量は最大 111 m³/s に達した。推定値の最大値も 125 m³/s とほぼ一致している。

このように見えてくると、この時点が避難の最後のチャンスであり、そのとき避難をすすめるに行った人も、その後の急激な増水の危険を犯して濁流を渡ったことが分かる。その勇気と努力が報われなかったことが惜まれる。もう一つ注目しておきたいことは、14 日 9 時から 10 時の雨のピークが過ぎた後も、流量は増え続けているということである。雨の勢いが弱まったからといって油断してはならない。(注：流量の計算結果は、多くの仮定を含むので、その絶対値は正しくない場合があります。)(1999 年 9 月)

宇宙論はファンタジー

数年前、土星を始め巨大惑星にはなぜ輪があるのだろうかと思って、参考になる本を探していたら、本屋に「惑星のリングはなぜあるのか」というそのものずばりの本があって、思わず笑ってしまった。だいが前に生徒の一人から宇宙論についても書いて欲しいと、リクエストされていた



(著者) アラン・グース

ので、参考になるいい本がないかと気にかけていたのだが、ついに(ちょっと大げさだがそういう実感で)「なぜビッグバンは起こったか」(原題は、The inflationary universe)という本に出会った。その生徒はとくに卒業してしまったが、この本を種に宿題を果たそうと思う。

著者は、インフレーション宇宙を考え出し、ここ 20 年ばかりの宇宙論に関

する議論の牽引的存在で、今もそうあり続けているアラン・グースという人である。一読しての印象は、「宇宙論はファンタジー」だ。著者自身もそのように感じている節が見受けられる箇所がある。

人工衛星による観測によって得られた宇宙の非一様性に関するデータが、理論の予想と見事に一致することが分かった時の感動を次のように記している。

「理論物理学者にとって、私たちが計算と呼ぶこの奇妙な営み 紙にインクをのせ、次にその紙を投げ捨てて、新たな紙にインクをのせるという営み が現実に実在について何かを教えてくれると分かること以上にうれしいことはない。」

以下に、宇宙論ではどのようなことが問題とされたのかに焦点を絞って、私に理解できた範囲で整理してみよう。

1．ニュートンも宇宙論を考えていた。

「あなたの重力理論では、すべての物質は引き合うから宇宙はやがて重力崩壊をしてつぶれてしまう」という疑問がある神学者から提示されたとき、ニュートンは、もし物質が無限の空間に均等に配置されていたら、中心というものがないので、宇宙は一点に集まってしまふことはないだろう、と答えている。「積み上げられた二つの藁束のちょうど真ん中につれてこられた口バは、どちらの藁束に行くべきか決定することができなくて、飢え死にしてしまう。」という有名な推論と似た説である。もちろん現実にはそうはならないことを我々はよく知っている。しかし、その神学者のような疑問をいただくこと自体が偉大だと思う。少なくとも私が初めて万有引力の法則を習ったとき、その種のことは疑問に思わなかった。また私が、教室で万有引力の法則を紹介した生徒はすでに 1500 人を越えているが、上のような疑問を発した人はまだいない。西洋における論理学の歴史の重み思わせるエピソード、と言えるだろう。

2．0.1 秒後

宇宙誕生から 0.1 秒後(この稿では宇宙歴 0.1 秒と言う

ことにする)。このときの宇宙の状態を称して、原初スープと言う。スープの温度は 315 億絶対温度 (K)。スープの具としては、中性子 1 個に陽子が 1.61 個 (現在の宇宙は中性子 1 個につき陽子 7 個)。それに、陽子と同じ数の電子があって全体は電氣的に中性だった。スープの方は、光子 8 個に対して電子 6、陽電子 6、ニュートリノ 9、反ニュートリノ 9、の割合であった。ただしこの電子は、上記の陽子と 1 対 1 になっている電子を別にした数である。光子の数は具の中性子や陽子に比べると膨大で、中性子 1 個について 17 億個あった。

3．宇宙歴 1 秒

宇宙の温度は 100 億度 (現在は 2.7 K)。1 秒後から温度が冷えるにしたがって中性子は陽子に転換していき、15 秒後ぐらいからヘリウム等の軽い原子核が作られていく。電子と陽電子は衝突すると消滅して光子になる。一方、ニュートリノ、反ニュートリノは、このころのものが現在まで生き延びて宇宙の背景放射を構成している。しかし、低温のニュートリノ・反ニュートリノは他の物質と反応しないため観測できない。もしこれが可能になったら、ビッグバン理論にあらたな証拠 (あるいは反証) を加えると考えられている。

4．宇宙歴 30 万年

この頃になると、宇宙の温度は 3000 K くらいまで冷え、電子が原子核に捕らえられて中性の原子が作られる。中性原子のガスは光をよく通すので、それまで電子によって散乱されていた光が、この時期以降は宇宙空間を直進できるようになる。この光が、現在も宇宙の背景放射として観測される。ただし、宇宙の膨張のため背景放射の温度は 2.7 K

までさがっている。

5.3 K の背景放射

1964年、大学院を卒業したばかりのベンジスとウィルソンの二人組が、別の動機から始めた実験によって、宇宙にあまねく存在する背景放射を発見するにおよんで、宇宙論の研究は急展開した。1990年から1993年の人工衛星による精密観測によって、背景放射の温度は2.726 Kであることが分かった。同時に、宇宙の全方位において、放射が十万分の一の精度で一様であることも分かった。なぜこのようにあらゆる場所の温度がこんなにも高い精度で一様なのか、ということが次に述べるように大問題となった。

6. 地平線問題

例えば、あなたが昨日の夕食にハンバーグを食べて、あなたの友人も昨日の夕食にハンバーグを食べたということが分かったとしよう。ひょっとして、それは偶然そうであったということかも知れない。しかし、あなたのクラスの全員がハンバーグを食べたとすると、偶然とは言えないだろう。たぶん、前の日にクラスで相談して、みんな今晩はハンバーグを食べようと決めたに違いない。

ところで先ほども書いたように、現在地球に互いに逆方向から到達する宇宙の背景放射は、宇宙歴30万年の時点で、互いに9000万光年離れた二点から互いの方に向けて発せられた光であることが、ビッグバン理論から導かれる。ところが宇宙歴0年から、30万年までの間に光が進みうる距離（宇宙の地平線）は、当然30万光年である。初期の宇宙の膨張率が大きかったことを計算にいれてもせいぜい90万光年である。つまり9000万光年離れた二点が、互いに情報を交換し合って同じ温度になる暇がないはずだ

のに、観測された背景放射の温度は十万分の一の精度で、同一なのである。

もう一度、上の例えに戻ると、夏休み中のある日に（したがって前の日に相談できない）、日本中の高校生が全員前の晩にハンバーグを食べたようなことが、宇宙で起こっているのである。これがビッグバン宇宙論で最大の問題と言われた地平線問題である。

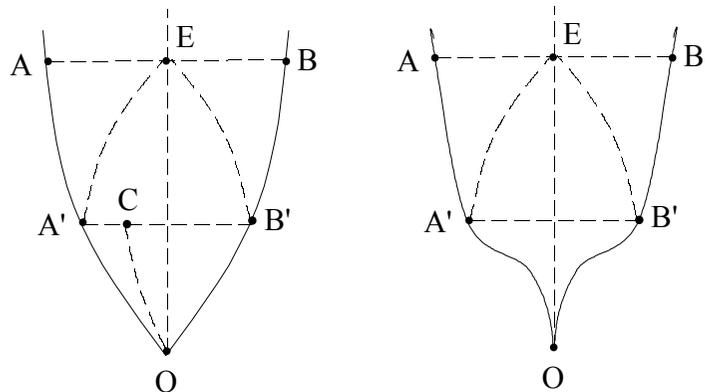
7. 臨界質量密度

宇宙全体の質量密度がある臨界値より大きいと宇宙はやがて収縮を始める、逆に小さいと拡大し続ける。その臨界値は、現在の宇宙の膨張率（ハッブル定数）にもよるが、 $5 \sim 18 (\times 10^{-30} \text{ g/cm}^3)$ と言われている。そして、現在の宇宙の質量密度は、臨界値の0.1倍から2倍と考えられている。だからこの先宇宙が膨張を続けるものか、やがては収縮を始めるのかはまだ分かっていない。

8. 再び宇宙歴1秒

質量密度と臨界値との比が0.1倍から2倍というのは、大きな幅があるように思えるが、その比は、1より大きいと、宇宙の膨張とともにさらに大きくなり、小さいとさらに小さくなっていく。従って、現在の0.1-2倍という比を、宇宙誕生1秒後の値にするとその比は、 $1+10^{-15}$ と $1-10^{-15}$ の間でなければならない。宇宙は誕生から1秒の間に、どのようにしてそんなに正確に1に近い値を獲得したのか、つまり臨界値に限りなく近い密度になり得たのか、ということが問題だ。

地平線問題と質量密度比の問題、またそもそもなぜ爆発的な膨張が起こったかは、著者が考え出したインフレーション宇宙論によって説明された。



初期の宇宙論 (左) とインフレーション宇宙論 (右)

地平線問題を、上図を使って説明しよう。図の左右に従来のビッグバン理論による場合と、インフレーション理論による場合を書いている。いずれも縦軸にそって時間が経過している。横軸は空間の広がりを示している。ただし、この図は説明のために縮尺を度外視して書いている。いずれの場合も時間とともに膨張しているが、膨張の仕方に違いがある。

現在の地球は E 点にある。観測衛星は A の方からやってくる光と、B の方からやってくる光が示す温度を調べた。それらの光は宇宙歴 30 万年に出た光である。ところで宇宙は膨張を続けているから、宇宙歴 30 万年には A および B 点はそれぞれ A' 点と B' 点にあったと考えられる。つまり、E と A' 点をつないでいる破線は、宇宙歴 30 万年に地球の方に向けて発せられた光の時空間における軌跡を示している。B' から出ている破線も同様に、B' を出発した光の軌跡を示している。

宇宙歴 0 年に 30 万年後に A' となる点を発して、B' となる点を目指した光は、宇宙歴 30 万年には C 点にしか達

しない。ということは、B' という点は、どのような方法によっても A' の温度を知りようがないのである。それにもかかわらず両者が偶然ではすまされない同一の温度の物体から発せられた光であるということが、観測で確かめられたのである。

インフレーション理論は、前ページの図 (右) のように宇宙は宇宙歴 1 秒よりも前のきわめて短い時間 (図には正しい縮尺ではとても書けない) の間に急速に膨張する。従って、それ以前の宇宙は (著者自身の言葉を借りると) 「馬鹿馬鹿しいくらい」に小さかったため、A 地点の情報が B 地点に達することは容易だった。これで背景放射の一様性は解決である。

* *

宇宙の背景放射はマイクロウェーブ領域の放射だから、肉眼では見えない。一方、可視光線で見える宇宙の様子は一様どころか、実に変化に富んでいる。星の集団である銀河があり、複数の銀河がまた集団を作っている。さらに銀



河集団は宇宙空間に偏った集合のしかたをしていて、泡のような構造を持ち、銀河が全く見あたらない超巨大空間があったりする。このような非一様性が生じる原因も、宇宙論にとって大きな問題である。

る。
写真は、ミルク・クラウンという現象をデジタルビデオ

カメラで撮影したものである。ガラスの上に薄くミルクを垂らしておいて、その上にミルク滴を落下させる。ミルク滴は落下時の衝撃で広がろうとするが、すでにあるミルクにじゃまをされて円筒形の壁を作る。やがて壁の上端に乱れが生じて、とびとびに棒状の構造ができる。さらに棒の先端がちぎれて球形のミルク滴ができる。

円筒形の壁ができたとき、その上端はほぼ一様だがよく見ると小さな凹凸がある。その凹凸が写真のような十数個の突起に見られる不均質さにまで成長するのである。

ミルク・クラウンは、もちろん宇宙論とは直接何の関係もない。しかし、初期の段階の小さな不均質性が、やがて大きな構造に成長していくという点は共通している。宇宙の巨大構造も、初期の段階のごく小さい乱れが成長して生じたと考えられているのである。

インフレーションそのものを理解するには、ヒッグズ場、偽の真空、等々を理解する必要があるようだ。それらは著者アラン・グースの解説能力をもってしても、まだ一般読者の理解の領域に持ち込み得ない物のようである。(平たく言うと、私も読んでよく分からなかったということだ。)この本を読んで私が理解できるのは、上に整理したように初期のビッグバン理論にどのような問題点があったかという点である。それを理解させてくれるだけでも、この本は読む価値がある。

著者は決して、最初から宇宙論を目指していたわけではない、いくつかの偶然が重なって宇宙論を研究対象とするようになり、やがてインフレーションの着想を得るまでの物語は一種の Bildungsroman (「教養小説」と訳されるが、教養の意味が不分明な今日では、字面を見ただけでは、どのような小説を指すのかよく分からないだろう。成長物語

と訳す方が意味は分かりやすいかもしれない)の感があった、科学研究の熱気に触れることができる。この本には、著者の同僚のあるいはライバルの写真は豊富にあるのだが、残念ながら、著者自信の顔写真がどこにも掲載されていない。いろいろ探した結果、新潮文庫の「宇宙を見つめる人たち」という本に紹介されているのを見つけた。それが冒頭の顔写真である。

(2000年2月)

ジオテイル計画

2000年3月6日から8日の3日間、神奈川県相模原市の宇宙科学研究所においてジオテイル・ワークショップが開かれた。これは、宇宙研が米国のNASAと協同して打ち上げたジオテイル衛星によって得られた成果を発表しあう研究集会である。米国やヨーロッパ各国から研究者が集い、活発な議論が行われた。

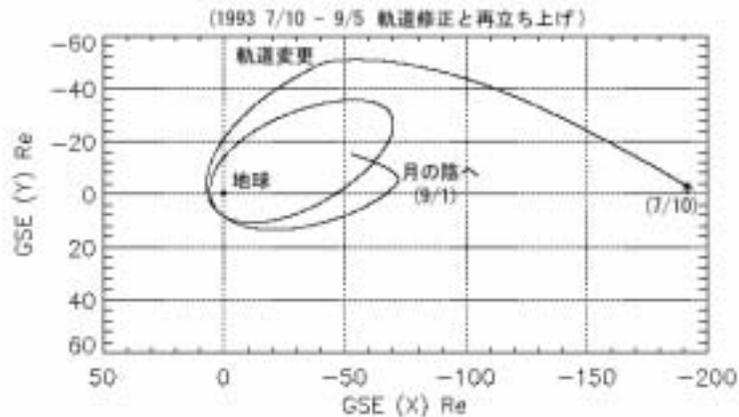
研究会の最終日の8日には、ジオテイル計画で日本側の中心としてご苦労された宇宙科学研究所所長の西田篤弘先生の退官パーティが、東京浜松町のホテルで開かれ、研究の上でお世話になってきた私も、パーティの末席に加えていただいた。西田先生は、宇宙空間物理学の理論的研究で数々の国際的な栄誉を受けられている。この日もパーティの席上で、ロシア人参加者からガガーリン賞が授与されるということがあった。百名以上の参加者があって慌ただしい中、高校生のためのレターに記事を載せたいという筆者の要望を快く聞いていただき、国際協力で行われたジオテイル計画の中で最も印象に残ったことについて話していただいた。以下はそのときのお話を、後に送っていただいた資料ならびにe-mailによる質疑応答を参考にして、まとめたものである。

ジオテイルは、ヨーロッパ宇宙機構、宇宙科学研究所、およびNASAの共同企画である国際太陽地球物理学プログラムの一環として位置づけられた衛星である。ジオテイルの他に、ウィンド、ポラー、ソーホーならびにクラスターと呼ばれる観測衛星が計画され、惜しくも打ち上げ失敗に終わったクラスター以外は、今も太陽地球環境についての貴重なデータを採り続けている。(その後、クラスターは再び上げられ貴重なデータをもたらしている。) ジオ

テイルの軌道(図はその一部)は非常に複雑で、地球から220 RE(1 RE = 地球半径 = 6400 km)から10 REの範囲の磁気圏尾部を飛んで、科学的な観測を行うよう設計されている。ちなみに月の軌道半径は約60 REである。ジオテイル衛星は、このような軌道を飛びながら、宇宙空間の磁場、電場、粒子分布、プラズマ波動などを測定する役割を担っている。いずれも従来の性能を大きく上回る測定器が開発され、ジオテイルに搭載された。中でも宇宙研の向井利典氏を主研究員とするグループが開発した低エネルギー粒子計測装置(LEP: Low Energy Plasma Analyzer)には、宇宙空間で起こっている物理的現象の謎を解き明かす、画期的な性能が期待された。

ジオテイル衛星は、1992年にケネディースペースセンターから打ち上げられ、予定の軌道への投入等が順調に行われた。しかしジオテイル衛星の最大の危機は、早くもその1ヶ月後にやってきた。画期的な性能が期待されたLEPが、放電をおこし機能を停止したのである。LEPを生き返らせるためには、再度測定器の立ち上げ(電源を入れ直すこと)を行うしかない。ところが、LEPだけのスイッチというものは無く、それをするには衛星全体の電源を一端切っただけでは入れ直すしかない。しかも、すでに太陽電池のパネルが開かれているので、電源を落とすには衛星の軌道を変更して、地球もしくは月の陰に入れソーラパネルに太陽光が当たらないようにしてやらなければならない。しかし、そのような操作をしたとしても、LEPが再生するとは限らず、その上、順調に機能している他の測定器に悪影響を与える可能性すらある。

ジオテイルには、日本の研究者の測定装置だけではなく、米国人研究者も測定装置を積み込んでいる。宇宙研が提案



した LEP 再生計画案は、宇宙研と NASA の合同会議で検討された。打ち上げまでに約二百億円の資金が投入された衛星全体の安全性と、ジオテイルプログラムにおける LEP 実験の重要性が秤にかけられた。数度の会議を経て、最後に各パートの主任研究者による投票が行われた結果、再生計画が実行されることになった。

1993 年 7 月に衛星の軌道が変更され、同年 9 月 1 日に衛星が月の陰に入っているあいだにバッテリーが切り離された。緊張の十分間の後に、衛星は再び太陽光のもとに出て、生き返った。その後、LEP 実験で得られたデータをもとに百以上の論文が発表されている（2000 年 3 月現在）。ジオテイルに関わった研究者達の最も厳しい決断と協力が、これらの成果をもたらしたと言える。

ジオテイル計画を推進する上で最も苦勞した事はなにかと、西田先生にお尋ねしたところ、関係国間の習慣の違いや法律の違い等をいかに調整するかだと答えられた。習慣や法律の違いによる誤解が、計画全体の行く末を危うくすることがある。例えば、計画実行の過程で研究者が負傷した場合の補償の仕方なども日米間で異なった。ジオテ

ル計画では、この問題は高度な政治判断で超法規的に処理された。つまり法整備は先送りにして、間に合わせ的に処理せざるを得なかったようだ。科学の成果は人類共通の財産だが、科学を研究するための組織や、その中での人々の習慣などは国によってずいぶん違う。研究者間の個人的な協力だけではすまないこのような微妙な問題を、一つ一つ解決していかなければ、将来より広範囲に渡る国際協力を実現していくことはむづかしい。

(2000 年 4 月)

ぼけた話

6月25日・28日に、東京の代々木公園に隣接するオリンピック記念青少年センターで、地球物理関係の合同学会があった。印象に残ったことを記しておこう。

地球物理関係と言っても多くの分野が含まれるので、分野別に講演会が持たれる。それをセッションと言っている。この合同大会が開かれるようになってもう10年になるが、今年始めて「地学教育」のセッションが持たれた。地学を履修する生徒の数が20年前に比べて半減しているという事態を深刻に受け止めて、地学教育に関心のある人たちが開いたセッションである。これを期に、21世紀に向けて、地学の新たな展望が開かれることを願っている。

今回の学会で新たに設けられたセッションのうち、もう一つ目を引いたのは「地震関連電磁気現象と前駆的(宏観)現象の科学」という、長い名前のセッションである。これは、地震にともなう電磁気現象についての研究を発表する場である。1996年、阪神淡路大震災の翌年に開かれた学会の懇親会で、たまたま隣り合った地震学者に、「地震の前にFM電波が電離層で異常反射されるという報告があるがどう思うか」と尋ねたことがある。ところが、「何kmも深い地下で起こる地震が100kmも上空の電離層に影響を与え得るとは考えられない。まったく非科学的である」と、やや感情的に一蹴されてしまった。当時は、そのようなことを研究する一握りの人たちを変人のように見る風潮があったことも確かである。それが4年後の今日では、地震に関する研究の一つの分野になっているのである。正当派からは批判もあり、この分野が将来豊かな成果をもたらすかどうかは分からないが、未知の海域に乗り出す勇気のあ

る船乗りがここにもいると、私は好意的である。

もう一つのエピソードは、磁気嵐に関する研究発表の会場でのことである。ある若手研究者の発表の後で、大学を定年で退官されたO先生が、研究発表で例示された複数の現象について時間的な関係を尋ねた。二つの現象の間の時間的關係は、両者の因果関係を判断する上で大事である。ところが、発表者はそれに答えることができなかった。そこでO先生曰く、「そんなぼけた話をしてどうするんですか。どうしてそんなぼけた事を言うんですか。」会場の雰囲気が一気に引き締まったことは言うまでもない。退職しても、若手を叱咤激励する先生の気概に感動を覚えたものだ。

(2000年9月)

月食を見ましたか？

7月16日の皆既月食を観察した人は多いだろう。20時57分に欠け始め、22時2分から23時49分まで皆既月食となり、翌日の0時54分に終了した。月食中も月は、地球大気の影響で回折する太陽光の中にあるので、ちょうど朝日や夕日に照らされた雲が赤く見えるように、赤っぽい月が観察された。

自宅のベランダで月食を見ていたとき、双眼鏡で月を見ていた小学生の娘が「グラサンのお兄ちゃんがいる」と言い出した。どれどれと見てみると、なるほどサングラスをかけたお兄ちゃんらしいのが、歌でも歌っているように大きな口を開けているのが見える。口絵3の写真を見て、それが分かりますか。

さて、紀元前3世紀のエラトステネスは、遠く離れた2地点における太陽光線の角度の差を利用して、地球の半径が約6400 kmあることを計算で求めたそうだ。もし、彼が今回と同じ月食を観測していたら、きっと観測結果を用いて地球と月の距離を計算していたことだろう。

それは簡単な計算だ。まず、月が地球の影の真ん中を横切ったとする。(実際はそうではなかったが、簡単のためそうしておこう。)地球の影の半径は6400 kmだから、直径約12800 kmを月は172分かけて横切る。従って、月の速さは、毎分約74.4 kmと求められる。月の公転周期は27.3日だと言うことは分かっているから、この2つの数字から月の軌道の円周が求められる。円周が分かれば月までの距離が、約46万 kmであることが算出される。現在知られている距離は、38.4万 kmだから、それより大きいのが、これは月が地球の中心を横切っていないためである。

月と地球の距離が分かれば、三角測量の要領で太陽までの距離が分かる。やがて太陽と地球を結ぶ線分を基線にして、近くの恒星までの距離が分るようになった。こうして得られる知識の量に反比例して、人間はどんどんちっぽけな存在になっていく。天空にぼっかり浮かんだオレンジ色の月を見て、こんなことを考えた。君はなにを思っただろう。

(2000年9月)

秋です、ちょっと哲学・・・

堀田善衛の随筆集(「空の空なればこそ」)に、「今日の種々の困難の根元は、デカルトの『我思う故に、我あり』の思想にある。この言葉はトマス・アキナスの『我あり、故に我思う』の逆転だが、人類がアキナスの思想を継承しておれば、今日のようなことにはならなかつたろう」という一節があった。無学をさらけだすようだが、アキナスの言葉の方は記憶になかった。そこで、これらの神学者と哲学者について、「ソフィーの世界」(ヨースタイン・ゴルデル著)(以下、ソフィー)をひろい読みした。



アキナスは13世紀の神学者。信仰と理性は矛盾しない、ということ考えた人。ソフィーは、ヨーロッパの精神史は、この問題に貫かれていると述べている。プラトンは、永遠の存在であるアイデアの投影が、現実の世界であると言う。一方、聖書は、神がゼロからこの世界を作ったと言う。このままでは両者は合致しない。4-5世紀

の神学者アウグスティヌスは、神がこの世界を作るとき、神の中にアイデアがあったと解釈した。こんなふうに、西洋はギリシャ哲学と聖書の教えとの溝を埋めようとしてきた。神がこの世界を作ったときに、この世のイメージが神の中にあつたとすれば、そのイメージは誰が作ったのかと、どんどん突き詰めていくのが西洋流である。

ところで、アキナスは、アリストテレスと聖書との無矛盾性を主張した。アリストテレスが理性的に追求した真実は、それ自身真実だが、完全ではない。それを補完するのが聖書であると。彼は、悪の存在にこだわる。神が存在するのに何故悪があるのか。彼は、悪とは神への反逆である。アダムとイブ以来、神の教えに背いた人間は罰を受け続けている。救いは教会の内にのみあると説いた。カトリックの硬直化がここから始まるのだろうか。それへの反発として、14世紀にルネサンスの人間への回帰が起こる。ルネサンスの爛熟は、17-18世紀のバロックへと引き継がれ、デカルトはこの二つの時代の間中に位置する。バロックは生と死の両義性にさいなまれた時代で、その頃の合い言葉は、「今を楽しめ」「死を忘れるな」だった。「生きるべきか死すべきか」とハムレットに言わしめたシェークスピアは、その代表選手だ。



デカルトは、そのような時代にあつて、確かなものはなにか、と問うた。そこで、先ほどの言葉「我思う故に、我あり」に至る。

このようにソフィーの話をたどってくると、アキナスの言葉の「我あり」は神によって在らしめられている我、と解釈できる。逆に、デカルトにフィードバックすると、デカルトの「我思う故に」

は、ひとまず神ぬきで考えてみようという姿勢の表れのような。このようにソフィーを読むと、デカルトの有名な言葉も、アキナスの言葉を知らないとなんか意味は通じな

いと言うことがよく分かった。

さて、冒頭の堀田善衛は何を言いたかったのだろうか。信仰をもて、ということか。どうもそうではなさそうだ。デカルトは「分析的方法」を初めて明文化した人だから、これに問題があるということだろうか。部分部分を見て、各領域における最大効率を追求してきた結果、ある領域が他の領域を侵す、あるいは汚すという結果になった。まず「在る」ということを認めて、そのあり様をもっとよく把握せよ、ということだろうか。

しかし、デカルトの方法論は、三段階から成っていて、物事の分析はその第一段階に位置づけられている。第二段階は、単純なものから複雑なものへ検討を進めよ。第三段階は、全体をよく見て見落としがないか再検討せよ、である。私たちは、第一段階だけに注目して、いつのまにか第二、第三段階を忘れていたのかもしれない。たしかに、遺伝子の研究など、よく全体を見極めてすすめないで、大変なことになりかねない。

環境問題などに直面して、科学の行き方に疑問を呈する人は少なくない。堀田善衛の指摘は大変示唆的なものだが、不審をいだくあまり科学を全否定する人も中にはいるようだ。しかし、今日当面している諸問題を解決する方法は、科学的方法以外にはないだろう。アキナス流にまず「我あり」と考えて、謙虚に自然のあり方を見極めることは、自然科学の行き方と決して矛盾しない。大事なことは、アキナスの存在を忘れずにデカルト的方法を活用することではないだろうか。

(2000年10月)

科学技術庁にF旗を

1999年9月30日10時35分に茨城県東海村のウラン燃料加工施設 JCO で、ウラン溶液が核反応を起こして、2名が死亡、600人以上が被爆するという事故が発生した。色々な意味でおかしな、「え？」と思う、事故だった。ウランを一定量以上同一容器に入れると連鎖反応を起こすことは、少し物理をやった人ならだれでも知っているし、一旦連鎖反応がおこると大量の放射能が発生することも常識である。では、なぜおかしいかというと、その答えは、高校の3年の物理選択生徒たちに書いてもらった小論文の中に見いだすことができる。

「今回の事故に関する報道の中で、私が最も驚いたのは放射性物質を扱う作業をしていた人たちが、その道に關してすごく勉強していてちゃんとした多くの知識のある - そういう人たちでなかったことだ。」

「放射能という人間に危害を加える可能性のあるものを扱う施設があるからには、事故が起きたときの対策もそれなりにないとおかしいと思います。」

つまり、我々が当然と考えることがなされていなかった、という驚きである。

ロサンゼルス地震で高速道路が落下した。日本の道路の専門家は、日本では建設基準が厳しいから地震で高速道路が落下することは無いと、断言していた。しかし、頭でっかちのT字型で、下の一般道を通るときはいつも大丈夫かな、と不安に思っていた高速道路が地震であっけなく横倒しになったとき、もう専門家の言うことを鵜呑みにはすま

いと思ったものだった。今回の事故でそのことを再確認した。素人は素人なりに考えて「あれ？」と思うことは遠慮なく口にすべきだし、専門家は素人の疑問の中に自分たちが見落としていることがないか、常に謙虚にそのような疑問に耳を傾け、素人にも納得できるように説明することを心がけるべきだ。

それはさておき。小論文の参考資料として、科学技術庁が臨界事故後のことを解説した「ニュースレター」を教室に掲示しておいた。臨界事故や H2 ロケットの失敗などで批判の集中していた科学技術庁だが、筆者としては、仕事は違って同じ科学分野に属する一人として、応援したい心持ちがあった。しかし、「ニュースレター」の記事の一部には、読む者をして科学技術庁の姿勢を疑わしめるものがあった。

その記事には、「今回の JCO の施設では、酸化ウランの粉末から不純物を取り除くという作業を行っていました。（中略）しかし、JCO では溶解の際、...中略...「臨界」に至ったものと考えられます。」と、まず事故の概略が説明されている。ここでは事故の責任の所在が各センテンスの主語の形で明瞭に示されている。次に、核分裂の停止に成功した経過を説明する箇所では、「臨界反応を終息させるため、...中略...水を抜く作業を実施。これが成功して臨界反応は停止しました。さらに、中性子を...」とある。ここでは、逆に注意深く作業の主体がだれかということが伏せられている。事情を知らずにこの説明を読めば、科学技術庁が水抜き作業を行った、と誰もが思うだろう。ところが実態は「原子力安全委員会のメンバーが、手をこまねいている会社の事業所長に自分たちでこの事態を收拾するように迫り、会社は、仕方なく、「決死隊」を募り、...」とい

う経過だったらしい（加藤典洋「臨界事故の公的性格」毎日新聞）。そして、作業の結果、事業所の作業員 24 名が被曝した。

控えめに言って、「ニュースレター」のこの部分は、フェアではない。これでは「ニュースレター」発行の主たる目的がどこにあるのかと、疑われても仕方ないだろう。あるいは、単なる表現上の小さなことと思う人もあるかもしれない。しかし、事故調査というのは、フェアな立場で行われなければ意味がないという点で、この書き方には注目したい。科学技術庁の事後処理に関する当事者能力は、十全に備わっているのだろうか、疑問に感じるのである。

この私の疑問を裏書きするような事が 12 月 22 日に起こった。この日、科学技術庁事故対策本部は、今回の事故の被曝者を 150 人として原子力安全委員会に報告したが、実際は 230 人の被曝を認定していた、という記事が 24 日の新聞に報道されていた。対策本部は、「大内さんの死亡直後に新たな被曝者数を公表すると、数字だけが独り歩きしてしまうと判断した。」と話している。理論に合わないから実験値を修正するようなもので、この科学技術庁の非科学的な態度には呆れるほかない。

私はここ十数年野球部の顧問をしてきたが、高校野球の旗には、F の文字が印されている。フェアプレーの F である。科学技術庁の一つこの旗を送りたい。

さて、三年生の諸君が書いた小論文によると、およそ半数の人が、今後も原子力発電を推進しなくてはならないと考えているようだ。今回の事故をきっかけに「原子力防災法案」が可決されたことは、将来に向けて我々にやや安心感を与える。しかし法律が具体的に機能していかなければそれも絵に描いた餅に終わる。今後も、専門家がやること

だからと任せきりにはせず、市民の目で行政や企業の動きに注目し続けることが大切だ。

(2000年1月)

追記：科学技術庁に手紙を送って上の点を問うたところ、記事の不十分さを認め、続報では当該部分の記述が改められた。

「チャレンジャー」事故

15年前に起きたスペースシャトル・チャレンジャーの事故についてのドキュメンタリー番組が放映された。大量の液体酸素と液体水素を搭載した補助ロケットが、打ち上げの約70秒後に爆発し、5名の宇宙飛行士の命が奪われた。補助ロケットは、金属の筒をつなぎ合わせて作られているが、つなぎ目にはオーリングと呼ばれるゴム製のパッキンをはめ込んで、中身の燃料がもれ出さないようにしてある。打ち上げ当日、発射場のあるフロリダは記録的な寒波に襲われ、気温は-10℃を下回っていた。そのような低温のためオーリングの弾性が失われ燃料がもれだしたことが、爆発事故の直接的な原因であった。

政府は、有名な物理学者であるリチャード・ファイマンに事故後の原因調査を依頼した。ファイマンは、朝永振一郎とともに素粒子物理学でノーベル賞を受賞した人で、ファイマン物理学という日本語にも翻訳されている物理学の教科書で親しまれている。その前書きには、ファイマン博士が楽しげにボンゴを演奏している写真が掲載されている。事故調査の公聴会で彼は、演壇上の氷水でオーリングを冷やすと、それが弾性を失うことを実演して見せ、事故が素材の基本的性質によって引き起こされたことを鮮やかに示して見せた。

ファイマンの活躍ぶりについては、彼自身の著作によって既によく知られている。ドキュメンタリーは、しかし、事故調査以前に主題を置いていた。

スペースシャトルは、その本体を繰り返し使用するが、シャトルを打ち上げる主ロケットと補助ロケットは、本体から切り離されて海上に落下する。NASAは、燃焼状態等

を調べるために、打ち上げごとに海底から落下物を引き上げてきた。補助ロケットの製作会社の技術者達は、ある気温が低い日に打ち上げられたロケットのオーリングが変質していることに気づき、思わずゾットした。その打ち上げは爆発事故一步手前であったのである。

しかし、オーリングの改良は進まず、チャレンジャー打ち上げを迎えてしまった。技術者側と、NASAの担当者との間で打ち上げの是非について激論が交わされた。NASAには、宇宙開発に対する国民の関心を再び取り戻したいという願いがあり、チャレンジャーには選抜された高校教師を搭乗させることになっていた。打ち上げに固執するNASAのスタッフを前にして、技術者達は上司から「技術者の帽子を取って、会社経営者の帽子にかぶれ」と言われ、技術者としての良心を曲げて打ち上げに同意せざるを得なかった。

ある技術者は、会議のあと自宅に戻って、「宇宙飛行士達を皆殺しにすることが決まった」と妻にもらした。オーリングについての問題点は、宇宙飛行士には伝えられなかった。

ドキュメンタリーを見たあと、それじゃファイマンの果たした役割は何だったのか、と思った。ちょっとした英雄のように見えていたファイマンが、道化師のように見えてきたのだ。NASAの計画を支持して推進した政府は、ファイマンの開放的な人となりに政府の威信回復を賭け、彼はそれに見事に答えたのである。百戦錬磨の政治家達に、無邪気な科学者がいいように使われたということだろうか。それとも、ファイマンはそんなことは百も承知で、あえて事故原因を大衆に知らせる方を選んだのだろうか。実際、彼の著作を改めて読み直すと、自分はいまよく利用されたよ

うだ、という意味のことを、しかし自分は役割を完璧にこなしたと、自負をも伺える調子で書いている。

事故の原因といい、事故後の処理といい、決してきれい事だけではすまない、この世のやり方があるという印象だけが残った。死者への冒瀆、そんな言葉が脳裏をよぎった。

(2001年6月)

もう一つの「チャレンジャー」

確か、筆者が学生だった頃だから 30 年近く前に、「現在の調子で石油を使っていたら、30 年後には石油は無くなってしまふ」ということが言われていた。ところが 30 年たった今も石油は使われ続け、むしろあの頃より安価になっている。石油を使いすぎるとそれが枯渇するというのは、石油が大昔の生物の遺骸によって作られた、すなわち化石燃料であるということが根拠になっている。だから私は、以前から、石油が化石燃料なら、どれほどの生物遺骸があれば、現在埋蔵が確認されている石油を説明できるのだろうか、疑問に思っていた。

ところが、石油は化石燃料などではないという説があった。「未知なる地底高熱生物圏」(トマス・ゴールド著)という百年前の SF 小説みたいな題名の本が、石油は地球が誕生するときに閉じこめられた炭化水素が徐々に地表に出てくる途中で酸化、蓄積されたものであるという、石油の地下深層ガス起源説を紹介している。

この説自身は新しい物ではなく、かなり以前から旧ソ連圏を中心に主張されてきたらしい。西側諸国では、しかし、石油企業の力が強くて、無視され続けてきた。石油が、地下からのガスによって現在も再生産され続けているとしたら、エネルギー危機を背景に石油価格を左右することができなくなるからである。

この本の本領は、石油が今も地下深層ガスによって作られつつあると同時に、その深層ガスを直接的にエネルギー源とする超好熱性細菌が、地底数十キロメートルの層に存在するであろう、という説にある。石油に混入している生物の痕跡は、そのような生物のものであって、地上生物の死骸が混じった物ではないというのである。

私がこの説に関心を引かれたのは、これが生命の起源と関係しそうだからである。NHK の特集番組など、現在一般に紹介されている説は、生命の彗星起源説である。原始太陽系において微惑星と呼ばれる微粒子が雪だるま式に集まってきて地球の原型が作られる。それを核に、隕石がどんどん引き寄せられて現在の地球が誕生した。隕石を集める過程で、地球はどろどろに溶けた灼熱の球体となるため、生命の源が隕石に含まれていたとしても、その時点で絶え果てたはずである。従って、現在の生命の源は、地球が冷え固まった後に、外からもたらされたはずである。生命の彗星起源説は、地球の近傍を通過した彗星が撒き散らした物質の中に、生命を造り出すのに必要なアミノ酸が含まれていた。そして、暖かい浅い海で生命が誕生したと主張する。

もし原始の地球が灼熱の球体であれば、地中の炭化水素は気化してしまっただけで残らなかったはずである。ところが、計算の方法によっては、隕石の衝突によって発生する熱は地球の全表面を溶かすほどにはならないようである。原始においても、地球が全体としては冷えた状態で保たれていたとすれば、微惑星がもっていたアミノ酸が生命を誕生させた、と考えることができる。科学上の説で、ロマンチックな、つまり「偶然に・・・」という説は、疑ってかかるほうが無難である。彗星という偶然に頼らなくてもよい生命地底起源説とでも言うべき、この説の方に私は肩入れしたい。

もっとも、私の肩入れを待つまでもなく、この説は一挙に証明される可能性がある。地下深部に生命が確認されればよいのである。かつて深海には、生命が存在しないと信じられていた。光も届かず、莫大な水圧がかかる環境で生

命が生息できるとは、考えられなかったのである。ところが特殊な器具で深海底をさらってみると続々と新種の生物が発見された。十九世紀の中頃、この冒険航海をしたのが、帆船チャレンジャー号である。同じような事が、地底に関しても起こらないとは限らない。ただ、その地底で「発見」された生物が、地表生物が混入したものではないということを厳密に保証しなければならない、というのが解決困難な問題ではある。近い将来、海洋・宇宙と共に、地底が、もう一つの挑戦の舞台になるかもしれない。

(2001年6月)

追記。2005年現在、生命の起源に関して教科書などで紹介されている説は、右に紹介した彗星起源説とは異なっている。深海に発見された熱水噴出口の周りで原始的な生命が生まれたと考えている。地底生命起源説に近づいてきたようである。

読書案内

「水俣病の科学」西村肇、岡本達明 著

島原半島の南に位置する天草諸島と九州本島とに挟まれて、八代海と呼ばれる内海がある。外海にはごく狭い海峡で通じているだけである。1950年代、ここで、公式に認められた人数だけでも12,615人にのぼる患者を出す公害事件が起こった。原因は、日本窒素肥料株式会社水俣工場が海に垂れ流した廃液による、メチル水銀中毒である。著者の言によると、本書によって初めて水俣病発生のメカニズムが解き明かされた、ということになるらしい(下線、筆者)。なにしろ、化学はもちろん、化学工学、環境科学を総合しての労作であるから、本書を完全に理解しようとすると、さうとう本腰をいれてかからなければならない。私の力にあまる本だが、新聞の書評で本書を知り、なぜ「初めて」なのかということを知りたくて読んでみた。

チッソ水俣工場では、アセチレンを原料に、数多くの化学製品の元になるアセトアルデヒド(CH_3CHO)を製造していた。しかし、その反応過程で触媒として用いた水銀イオンが、当時は予期していなかった反応を起こして、メタン(CH_4)のHが一つ水銀に置き換わったメチル水銀(CH_3Hg)を生成していたのである。そして、ずさんな廃液処理を経て海に放出され、魚類を汚染し、ついには内海周辺の漁民を中心に、公害事件としては史上最大の被害を引き起こしたのである。

さて、なぜ発生から40年以上経って初めて公害発生のメカニズムが解明され得たのか。著者があげる理由の一つは、「新しい化学」の成果である。古い化学ではアセチレンの三重結合を切って水銀が結合できるとは考えられな

かったが、あたらしい化学は、それが必然的に起こることを教えている。第二は、「日本には 5 万人を超える応用化学の研究者がおり、この 40 年間で多分 20 万報以上の論文が出たでしょう。しかし、水俣病に関する化学的な研究は皆無であり、本書が最初の、そしておそらく最後の本格的な研究なのです」という事情である。そして、著者はこうも書いている。「(どのような反応が起こるか)すべてが科学的に解明された上で操業されている工業はないのです。それなら生産をストップしろと言うのでは、人類の生活も経済も成り立ちません。」

反応の詳細が不明なまま操業される化学工業、そして、発生した公害のメカニズムが研究されない学問的風土、この二つの要素がドッキングすると、どのようなことになるか。背筋が寒くなるとはこのことだ。

昨年暮れに、PG&E(パシフィック・ガス&エレクトロニクス社)をめぐる公害訴訟をテーマにした「エリン・プロコヴィッチ」という映画を見た。映画の題名は主人公の名前そのもので、人気女優のジュリア・ロバーツが演じている。PG&E社は、北部カリフォルニアでガスと電力を供給している実在する巨大企業である。同社工場の廃液に含まれていた六価クロム(強い発ガン性をもつ)によって、周辺の地下水が汚染され、多数の患者が出た。その事実を、法律事務所で事務をとっていた主人公が発見し、原告団 634 人に 3 億 3300 万ドルの補償金を勝ち取ったという、1996 年に実際にあった事件である。

水俣病訴訟では、1997 年までに認定された患者 1246 人に 1600~ 1800 万円、また政府和解案を受けた非認定患者 10,353 人に、260 万円が支払われている(和解案を拒否する 59 人の原告団が行政責任をめぐって裁判を継続中)。

企業の規模等の条件の違いはあるにしても、一人の被害者に渡る金額の日米におけるこの差はなんだろう。そう思って調べている内に、(その疑問自身は解決されなかったが)日米の二つの公害事件が思わぬところで共通点をもっていることが分かった。水俣病を起こした新日本窒素肥料は、後にチッソ電子化学 KK を創設し、それが企業間の合併吸収を経て現在の三菱マテリアル・シリコン KK になっている。IC 回路を作るためのシリコン単結晶を製造する企業である。その企業が、やはり六価クロムによる地下水汚染を起こしているのである。上記二つの要素のドッキングは、今も現実に起こっている。これは、その一つの証かもしれない。

(2002 年 1 月)

島原・普賢岳

昨年(2019年)の11月下旬、九州大学理学部で開かれた地球電磁気惑星圏学会に出席した。ついでに、せっかく九州まで足を運んだのだからと、島原半島の普賢岳を見に行っただ。

普賢岳は、温泉で有名な雲仙の北東、島原市の西に位置する標高1359mの火山である。1990年11月から火山活動が活発化し、翌年6月に、火砕流が島原市を襲い、43名の人命が奪われ、多数の人家、田畑が埋め尽くされた。



普賢岳を訪れた日の午前中、北九州一帯はまるで春先のような陽気だった。三池港から島原市まで有明海を高速艇で渡っている途中も、周囲は乳白色のもやに包まれ、まるで異世界に迷い込んだようだった。そろそろ島

原の港かなと思って、海上に目をやったとき、島原市の町並みの背後に屏風のようにそそり立つ眉山の稜線越しに、平成新山の秀麗な姿が見えた。始めてみる平成新山は、思いがけない高さにあった(口絵4)。

江戸時代中頃(1792年)には、眉山が大崩落し、島原城下を押し流し埋め尽くすという大災害が起きた。大崩落で発生した津波は、有明海を渡り、肥後(熊本県)を襲い、ここでも多数の死傷者を出したと伝えられている。今回の火山活動では、眉山が盾となって島原市の中心部を守った。

しかし、その分、眉山の南に位置する水無川沿いに被害が集中した。

噴火活動中のテレビニュースでは、山の頂上に鳥のくちばしのように突き出た部分がよく紹介された(前頁写真)。そのため、あれが今回の活動で盛り上がったのだと、なんとなく、そう思っていた。ところが、行って見て、そして改めて現在の地形図と昔の地形図と比較してみると、それがとんでもない早合点だということが分かった。口絵5の観光道路の向こうに見える山体のおよそ上半分が、今回の活動でできた新山だったのである。思いこみとは恐ろしいものだ。

図1、2は、いずれも国土地理院発行の島原の地形図(部分)である。図1は、明治時代の測量を元に1948年に写真修正を行った地図である。これは、私の勤務する高校に地学の教材として所蔵されていた地図からコピーした。一方、下図は、国土地理院のホームページからダウンロードした最新の地形図である。古い方の地形図をみると、普賢岳の東側斜面は、頂上から東の方に向かって多少の緩急の変化はあるものの、ほぼ単調に下っている。ところが、新しい方の地形図では、普賢岳の東北東に標高1486mの山ができています。つまり、今回の火山活動で、この新しい山がそっくり一つ出現したのである。古い地図の普賢神社と書かれてある辺りに新しいマグマの出口が作られたようである。

溶岩ドームの全体像を掴むために、普賢岳から東北東に直線を引いて、断面図を書いてみた(図3)。影を付けた部分が旧山体、実線が現在の断面である。旧普賢岳の山麓から新山が生まれ、かつての頂上より高く盛り上がったことが分かる。報道で溶岩ドームと言っていたのは、影の部分

から上の全体であったのである。

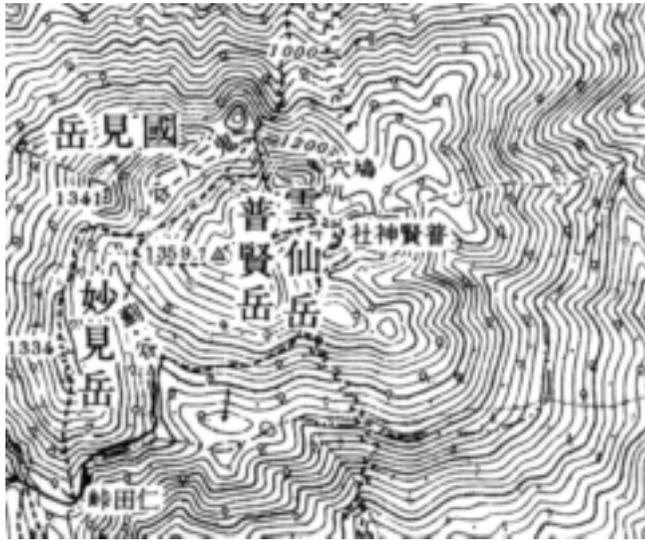


図1 . 1948年製作の地形図

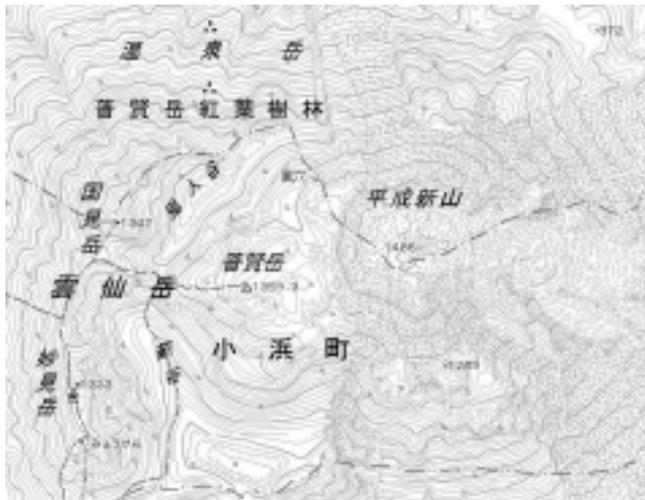


図2 . 噴火後の地形図

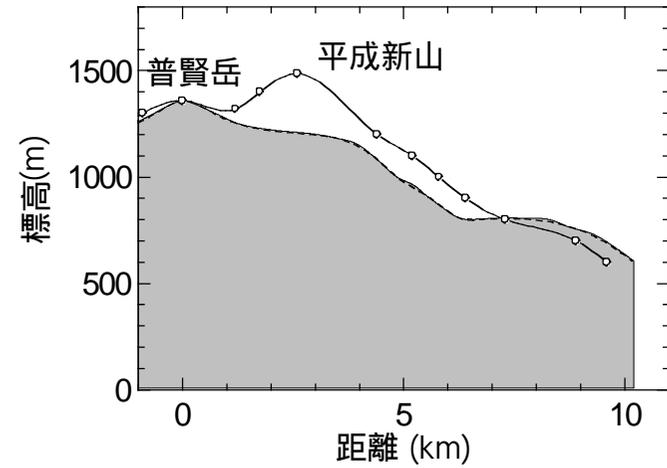


図3 . 断面図

地形図をもう一度見てみよう。図4、5は、普賢岳南東斜面の地形である。古い地図（図4）には、普賢岳の南斜面の谷に沿って、島原市の上木場、中木場の集落に至る道がついている。新しい地図（図5）では、上木場の集落があった一帯は、田畑や、人家といった人工物の記号が一切無い荒地になっている。それもそのはずで、この地域は溶岩ドームから崩落してきた火砕流に埋め尽くされたのである。古い方の地図に学校の印しがある。新しい方の地図を見ると、「大野木場小学校跡」と書かれている。長い歴史を地域の人たちと共に歩んだ学校だったのだろう。



図4．水無川周辺（1948年）



図5．現在の水無川周辺

下の写真は、水無大橋の袂から撮った平成新山の遠景である。麓では、火砕流堆積物が山の斜面を流れ下ってくるのを防ぐために堰堤工事が続けられていた。

遠目には秀麗な山容も、近づくとまだ火山活動の荒々しさをそのまま残している。激甚災害を被った島原市だが、誕生した新山は雲仙観光の新たな観光スポットになっていた。火山と共に生きる地元の人たちの心意気を感じた。

（2002年1月）



ワシントン大学のアライグマ

International Conference on Substorms という国際会議が、イチローですっかりお馴染みになった米国西海岸の町シアトルで開かれた。この会議は2年ごとに開かれ、今回が第六回になる。例年になく早く開花した桜を後に、少しペイントのはげたボーイング 747 で太平洋を一つ飛びすると、緯度が北海道並みのシアトルでもあちこちに桜が咲いていた。

会議のテーマであるサブストームというのは、極地方で観察される地磁気擾乱(じょうらん)のことである。サブストームが発生すると、オーロラ活動が活発化し、ときには全天をおおうオーロラが発生する。地球規模で発生する現象は地上からは部分的にしか観察できないため、その全体像を捉えることが難しいことが多い。例えば、ある地方をときおり嵐が襲うとしよう。一つの観測所で風向きを観測していると、その時々で様々な方向の風が吹く。しかし、適切に配置された多くの観測所で同時に測定を行うと、ばらばらに吹いているように見えた風がある点を中心に反時計回りに回転するように吹いていることが分かる。その中心が東へ移動していくと、嵐が収まる。風向や風速だけではなく気圧も測定すると、渦の中心付近では気圧が周りに比べて低くなっていることが判明する。このようにして、各地でそれぞれ別個に強風が吹いたり雷雨が襲ったりす



第6回サブストーム国際会議のロゴマーク

ると思われていた現象が、実は低気圧にともなう一連の現象であるということが理解できるのである。

アラスカ大学の赤祖父俊一は、極地方で行われた多くの観測結果を総合して、各地で起こるオーロラおよび地磁気変動現象が、個々ばらばらの現象ではなく一連の現象であることを付きとめ、サブストームと命名した。赤祖父は、若い時に地球物理学の泰斗であったシドニー・チャップマンの論文に理解できない箇所があって、手紙で教えを請うた。すると、チャップマンから、「それは自分にも分からない、こちらに来て一緒に研究しないか」という薦めを受けた。爾来40年以上に亘って、アラスカで研究を続けている。今回の会議にも元気な姿を見せ、講演を行った。

会場には、11ヶ国から研究者が集まった。ほとんどは私のように極地方から遠く離れた国の研究者である。それでいて、極地方の現象であるサブストームを研究するのは、サブストームが太陽・地球系の宇宙環境を反映する現象であるからである。人工衛星が飛んで、直接宇宙の物理量を測定出来るようになっておよそ40年がたつが、今日に至ってようやくサブストームの全体像が見えてきたような気がする。ただし、自然というのはしばしば人間が思っても見ない落とし穴を用意しているもので、分かったと思って油断していると実はとんでもない誤解をしていたりするから油断がならない。

会議が開かれたワシントン大学の印象をいくつか書いておこう。広いキャンパスにゆったりと、何風というのかは知らないが、統一されたデザインの古風な建物が建っている。キャンパス内の芝生は青々としていて、時々ふさふさした尻尾のリスが走っている。実用一点張りではない建物や美しい芝生を見ると、維持管理にずいぶん費用をかけ

ているなあと、つい下世話なことを考えてしまう。

大学内の道路には信号機がないが、心配無用だ。交差点に立つと、全方向からの車が停止線の前に停止する。これは見事なもので、気持ちのいいことこの上ない。宿泊したホテルから大学までは、幸運なことによく整備されたサイクリング道を通っていけばよかった。最初の日、ぶらぶら歩いていると前からやってきた自転車乗りに、歩行者は道の端を歩くことになっていると、注意された。このように行儀の悪い人間には、臆せず注意する習慣が、社会的なマナーを維持する上で役にたっているのだろう。

大学はユニオン湾に面していて、棧橋には 30 フィート級のヨットが係留されている。会議の最終日は午前中で終わりだったので、午後から棧橋近くに座って前景にヨットを入れて湾と対岸の様子をスケッチしていると、縞々の尻尾のアライグマが現れた。4、5メートルの距離まで近づいて餌をくれそうなやつか値踏みをしている様子だったが、そのうちあきらめて手近の松の木に上っていった。アライグマというのが、おとなしい動物か、小さくても獰猛なやつか、当方にまったく予備知識がなかったのでちょっと戸惑った。後で聞くと、やはり手出しは禁物だそうだ。滞在中に、シアトルのダウンタウンが面するエリオット湾に、63 年前に製造されたボーイングの双発プロペラ旅客機が不時着するという珍事があった。最近、いつ何が起こってもだれかがビデオを撮っているらしい。この事件でも、飛行機が盛大に水しぶきをあげて着水する様子が、テレビ放送で繰り返し放映されていた。パイロットが優秀であったおかげか、乗員は怪我もなく収容された。翌日の新聞には、「ボーイング 63 年の歴史が湾にダイブ」と大々的に報じられた。ちなみにボーイング社は、シアトルの地元企業

の一つである。記事によるとその飛行機は、来年には航空博物館に展示されることになっていたらしい。博物館館長は、「同機の歴史に新たなエピソードが加わった」とコメントしていた。アメリカ人らしい前向きなコメントだと感心した。
(2002 年 4 月)

読書案内

「脳の中の幽霊」ラマチャンドラン著

「人間に理解できるほどに脳が単純なものであれば、人間は脳を永久に理解することはできないだろう」という見解(ソフィーの世界)は、脳を理解することの難しさを巧みに言い当てている。著者のラマチャンドランは、あえてその困難に立ち向かっている。脳の機能について考えを巡らせるときに、彼が主に手がかりとしているのは、最新の医療器具による測定結果ではなく(それも利用はするが)、脳や体の他の部位に異常をもつ患者達の証言や行動である。例えば、事故や疾病のために腕や脚を切断せざるを得なかった人達の中には、無いはずの腕や足が痛いと言ったり痒いと訴えたりすることがある。このような無いはずの四肢に感覚を覚える症状を、幻肢(ファントム・リム)という。現実には存在しない指が手のひらに食い込んで耐えることができない、と訴える患者の問題は深刻である。また、脳梗塞のために右脳にダメージを受けると、左半身が麻痺するが、梗塞による損傷が頭頂部にある場合、患者自身はその麻痺を否認することがある。そのような患者は、他の人から見て明らかに左手が麻痺しているにも拘らず、自分の手は麻痺していないと言い張る。それが、見栄や強情で現状を認めたがらないという種類のものではないことを、著者は簡単な実験で証明して見せる。一方、左脳に脳梗塞を起こした人は、右半身の麻痺を自覚することができる。別の症例では、一酸化炭素中毒のために後頭部の一次視覚皮質を損傷した患者は、通常言う意味で盲目になるが、顔の前に差し出されたものをさっと取ることができる、というのがある。このような、それぞれ別々の原因による

と見られる症状が、実はそれぞれ脳の機能のある側面を照らしていることが、著者の研究によって明らかにされていく。

現在では、左脳と右脳の働きに異なった機能があることは、脳科学の常識になっている。左脳には言語中枢があり、合理的な思考にあたって中心的な働きをする。一方、右脳は芸術的な感性に関係する。そこで、創造的であるためには、右脳を良く働かさなければならないなどと言われる。しかし、本書によると左脳の働きがもつと言われる「合理性」には、脳の働きに関して極めて深い意味があるようだ。たとえば、上の、幻肢も、腕や足を失ったことを受け入れられない左脳が、本人の意思に関わらず痛みを創出しているらしい。

身近な例を、一つ紹介しよう。この稿の最後に示した図を見ていただきたい。左目を閉じて右目だけで、図の点を見ながら、紙面を鼻先から徐々に遠ざけてもらいたい。すると、点の右側に描かれた少し食い違いのある2本線の交点にある斜線部分が見えなくなる距離がある。このとき、網膜上の視覚細胞から視神経が束になって脳の方へ出て行く点(盲点)と斜線部分が、一致しているのである。その状態で、交差する2本線の食い違いに注意していただきたい(ただし、左側の点から視線を逸らさずに)。このとき、微妙ではあるが、縦の線の食い違いが無くなっていることに気がつくだろう。ところが、横線の方は食い違ったままである。このとき脳の中では、少なくとも二つのことが起こっている。

まず、斜線部分が単に見えなくなるだけではなく、上下の線が連続して見える。つまり、脳内部で見えなくなった部分に書き込みがおこなわれているのである。隣接する直

線は、「実際は」つながっているはずだ、と脳は判断して欠けた部分の書き込みを行うのである。そのとき書き込まれるのは、盲点に隠される前に見えていた斜線部の像ではなく、上下の直線の延長である。

次に、直線の食い違いが修正される。著者は、横ではなく縦の直線に修正が行われる理由については、不明としているが、想像をたくましくして考えてみよう。我々は、建物の柱を見たとき、食い違いがあると不安に襲われる。しかし、横の線、例えば床に段差があっても、転ばないように注意をすることがあっても、不安に感じることは無い。日本建築には違い棚といって、わざと横にずらした棚があるが、それは室内に軽快な効果をもたらすことができる。真っ直ぐに伸びた杉木立に清々しさを感じ、互いにずれながら重なりあう棚田に郷愁を覚えるのである。そのような我々の経験が、縦の線には食い違いを許さず、横の線には許すという、非対称をもたらすのではないだろうか。もっとも、この仮説が一つこまるのは、横に寝転がって試してみても、縦、すなわち体の軸に平行な方の線が一直線に見えることである。しかし、これには次のような言い逃れができそうである。筆者は、テレビを見るとき、ついゴロリと横になって見るが、頭はテレビと同じ向きにしておかないと、やはり見にくい。つまり、体軸を鉛直線と平行にしておかないと、物事を認識しにくいのである。そのため、体軸に平行な方の修正が優先される、ということで縦と横の違いを説明できないだろうか。

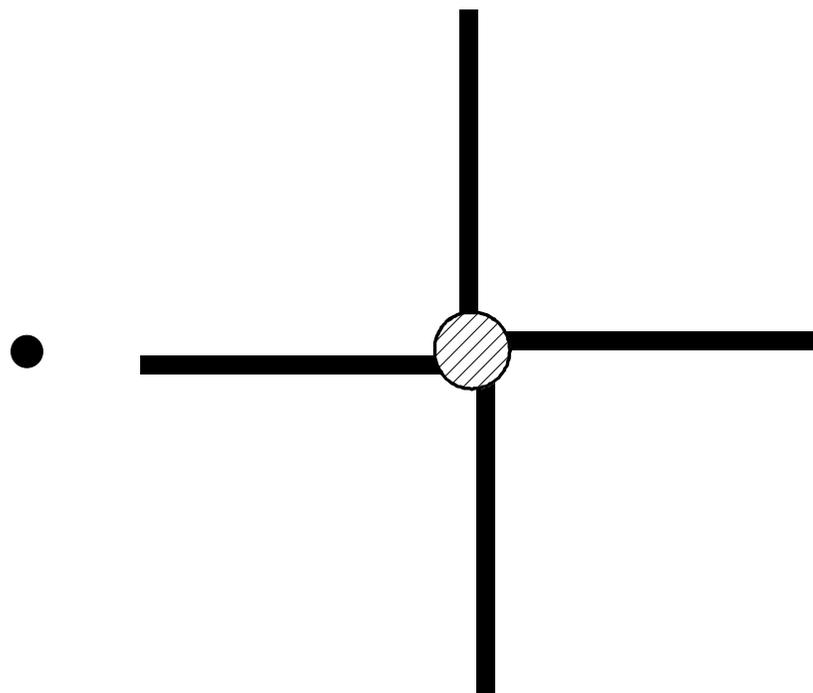
上のことから脳について言えることは、脳はそれまでの経験（記憶）と矛盾することは、五感からの入力を修正してでも、経験を優先させるということである。ここで、大事な点は、修正が本人の意思によらず、非選択的に行われ

る点である。経験に照らして修正を行うのは、左脳の合理化の能力である。左脳は、現実（外部から入力される情報）が経験から食い違ってきたとき、現実のほうを曲げてでも、経験との合理性を保とうとする（縦の軸は一直線につながっているはずだ）。しかし、そのようなずれが重大な局面にさしかかると、右脳の頭頂部は、左脳の合理性に待ったをかけることができる。「ちょっとまで、ルールが変わったんだぞ」と。右頭頂部を損傷した人は、左脳に「左手が麻痺しているから、ルールを変えろ」と、命令を出すことができないから、左脳は、麻痺を否認してしまう。（この否認の徹底ぶりについては、本書を参照してください。）

余談めくが、老人になると頑固になりがちなのは、合理的な思考ができなくなると言うより、自分の経験に照らした合理性に執着するためなのかもしれない。脳の機能が、合理性を追求する部位と、それを監視する部位に分かれていることは、大きな意味を持っていそうである。

著者は、本書の最後の部分で人類最大の謎「意識」の問題に挑んでいる。本書によって謎が解明されたとはとても言えないが、脳が意識を持つために必要な条件があげられていて、頷ける部分が多い。先ほど、盲点の部分の書き込みが、記憶に有るはずの斜線部分で行われず、上下の直線の延長として行われる、と述べた。これは、書き込みが、我々の意識とは別のルートで行われることを意味している。逆に言うと、「斜線部があった」という記憶を我々は、「意識」と呼んでいることになる。しかし、記憶の集合体が意識ではない。もし、そうならコンピュータは、意識を持つだろう。意識は記憶を操作することによって、その存在をアピールする、と言えればいいだろうか。（ここで用いた「記憶」と上の節で用いた「経験」とは、区別しておか

なければならないが、その違いを筆者は明確な形で述べる
ことができない。「記憶」と「経験」が関与する脳の部位
が異なるのだろうか。)本書を読んで筆者が理解したのは、
ここまでである。脳のことが知りたい人はもちろん、自分
ってなんだろう、と思っている人にも、お薦めしたい本で
ある。



(2003年6月)

Annales Geophysicae (2003) 21: 1–11 © European Geosciences Union 2003



Substorm-associated large-scale magnetic field changes in the magnetotail: a prerequisite for “magnetotail deflation” events

H. Nakai¹ and Y. Kamide²

¹Ibaki High School, Ibaki, Osaka, Japan
²Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, Toyokawa, Japan

Received: 18 April 2002 – Revised: 22 July 2002 – Accepted: 20 August 2002

科学論文を出すには

ヨーロッパ地球科学学会が発行しているアナルス・ジオ
フィジカという雑誌の2003年4月号に私と上出洋介先生
(名古屋大学教授)との共著論文が掲載された。学術論文
の冒頭には、図の様に題名、著者名、著者の所属といった
論文と著者に関する情報の他に、編集者が著者から原稿を
受け取った日、査読者の報告を基に著者が改訂した日、並
びに論文が受理された日が記載されている。ここに示した
筆者の論文では、それぞれ2002年4月18日、同年7月22
日、そして同年8月20日がそれらの日に当たる。これら
の日付には、論文の優先権を保証すると同時に、編集作業
が遅滞なく行われたことを示すという意味がある。上の日
付だけを見ると、この論文は4ヶ月ほどの間に順調に手続
きされ公表されたように思われるだろう。しかし、実際
には、私達が最初に原稿を送ったのは、アナルス・ジオフィ
ジカとは別のアメリカ地球物理学会が発行しているジャー
ナル・オブ・ジオフィジックスで、それは2年前の2000
年8月2日のことだった。

学術誌の編集者は、投稿された原稿の内容に応じて、適
切な2人の査読者を選んで、原稿の査読を依頼する。査読

とは、原稿を読んでそれがその学術誌に掲載するのに相応しいかどうかを判断することである。査読者が一読して、掲載に値しないと判断すれば、編集者に採用しないようにと助言する。多くの場合は、なんらかのコメントを編集者に送り、著者に原稿の改訂を要求する。ここで問題になるのは、原稿が受理されるかどうか、しばしば、査読者の顔ぶれによって左右されることである。2人の査読者は、それぞれが送ってきたコメントの頭に査読者1と2と区別して記されるが、彼らの実名は明かされない。

論文が掲載されるときに、編集者が論文の末尾に査読者の名前を明示することがあるが、それは、査読者が査読の匿名性を重視するか、あるいは論文への自分の貢献あるいは責任の公表を重視するかにかかっている。本来、査読者の役割は、投稿された原稿が学術論文として世にでる手助けをすることだと私は考えている。しかし、中には自らの説に反する主張を排除することを目的として査読に当たっているとしか思えない査読者もいるのは残念なことである。最近、上に挙げた両誌とも、著者自身に望ましい査読者の推薦を求めたり、逆に査読を依頼する相手に、著者との間に学問上の対立がないことの確認を取ったりしているのは、査読をめぐるトラブルが絶えないからであろう。

私達の論文が雑誌に掲載されるまでの経緯を書こう。しかし、その前に論文の主旨を簡単に説明しよう。

地球は、太陽から吹いてくる電離したガスの中にある。これを太陽風という。地球磁場は、太陽風の影響で太陽と反対方向に長い尾を引いている。そして磁気圏尾は太陽風のエネルギーをため込んで、ときおりそれを吐き出すという働きをしている。磁気圏尾がエネルギーを吐き出すとき

に、極地方で壮大なオーロラが現れる。私達の論文のテーマは、磁気圏尾がエネルギーを吐き出す物理的条件を見いだすことであった。これまでも多くの研究者がこの問題にチャレンジしてきたが、まだ成功した人はいなかった。

さて、2000年8月2日に最初の投稿された私達の原稿の運命は、なかなか波瀾万丈であった。査読者からの最初のコメントは2000年11月2日に帰ってきた。編集者が査読者に要求する査読の期間は、この雑誌の場合、3週間である。だから筆者は2ヶ月以上余分に待たされたことになる。しかも、2人とも現状では掲載に反対だった。

「現状では反対」という意見には、大別して、良い方と悪いほうの二通りがある。良い方は、基本的には賛成だが今少し手直しが必要だという意見。悪い方は、基本的に反対だが著者ががんばって大幅に改訂するなら再検討してもよい、というものである。今の場合は、悪い方だった。私達は査読者の意見を参考にして原稿の大幅な改訂を行い、再び編集者に原稿を送ったのだが、それは翌年の1月17日のことであった。2回目のコメントが帰ってきたのは、3月7日だった。結果は、査読者1は掲載に賛成だった。査読者2は、依然として反対だった。筆者は、しかし、このコメントに対しては原稿を改訂する必要を感じなかったので、意見だけをつけて編集者に送った。それに対する、査読者2のコメントが帰ってきたのは4月25日で、内容は「自分は、著者達の方法論や議論になんらの重要な意味を見いだせない。」とあって、「さらに、私は、著者達が私の質問に答える気がないことを見いだした」と書いてあった。このような印象を査読者に与えたのは、私達の明らかな失敗と言わざるを得ないだろう。査読者2への回答の一部に「私達がこの問題を議論している部分をもう一度

読んでください」など書いたのは、まずかったかもしれない。そこは、やはりもっと丁寧に対応すべきだった。査読者も人間だから、プライドを傷つけるような回答は、百害あって一利なしだ。

編集者は、この困った状況に対して、第三の査読者に意見を求めることにした。その査読者からの否定的なコメントが帰ってきたのは、さらに3ヶ月以上たった8月7日のことだった。コメントは、今回の研究結果と私自身が1991年に出した論文との間に矛盾があるという内容だったが、それは査読者の誤解に基づくもので、簡単に説得できると私には思えた。しかし、編集者は査読者2と3の反対を見て、原稿の掲載を拒否するという決定を通知してきた。筆者達は、査読者の明らかな誤解を指摘して、その決定を撤回するように編集者に手紙で抗議した。ところが、編集者は、すでに決定を雑誌の発行元に伝えたから、変更はできない。どうしてもと言うなら、原稿のタイトルを少し変えて再度投稿してはどうかと主張して譲らなかった。そのような無原則なやり方には疑問を感じたが、私達は長年の研究成果をこのような形であきらめることはできないので、原稿に改訂を加えた上で、助言に従って同じ学術誌に再度投稿した。それが9月28日である。

再投稿された原稿を査読する新たな査読者が二人選ばれ、彼らからのコメントが来たのは11月20日である。またもや2人とも掲載に反対であったため、今度は編集者は直ちに掲載拒否の判断をした。査読者のコメントの中で、特に私達が納得いかなかったのは、査読者2がコメントに書いてきたことである。彼（あるいは彼女）は、私達が扱っているサブストームという現象は、「この30年の間に全て解明され、もはや付け加えるべき新しことは何もない」

と書いていた。私達は、編集者が査読者2の意見を入れて我々の原稿を拒否するなら、今後その雑誌にはサブストームに関する論文を掲載しないのかと抗議した。実際には、サブストームに関する国際会議はその後開かれ、近い将来にも開催が予定されている。サブストーム研究者の多くが、まだその現象を十分理解したとは考えていないのである。そんな状況下で査読者2が、上のように考えるのは自由だが、それなら我々の原稿の査読をそもそも引き受けるべきではなかったのである。

このような次第で、私達としても、地球物理関係では世界で最も読まれているジャーナル・オブ・ジオフィジクスに投稿することは断念せざるを得なかった。そこで、矛先を変えてアナルス・ジオフィジカに投稿することにした。投稿に際しては、前と同じ轍を踏まないように、「読者はx x xのように考えるかもしれないが、それはy y yという理由で誤解である」という調子で、査読者が間違いそうなところを先に指摘する文章を追加した。学術論文では、普通あまり採用しない方法かもしれない。しかしその効あってか、今度の査読は順調に行き、編集者から受理した旨のメールが届いたのは2002年8月22日（受理の日付は8月20日）であった。査読者の一人は、「著者達は、長年求められてきた磁気圏尾におけるエネルギー解放の臨界値を発見したようだ」と、我々が望んでいた通りの評価をしてくれた。

このように、最初に編集者の所に送ってから、2年9ヶ月を経てようやく公表にこぎ着けることができた。しかし、論文の著者自身が、査読者の説得は無理と判断して、自ら論文を取り下げることもある。いつまでも一つの論文に執着していると研究そのものに悪影響を与えることもある

からである。あきらめずに押すか、潔く引き下がるかの判断は、難しいところである。私自身にも過去に、途中であきらめた論文もあるが、今回の場合は、結果的には、ねばりが功を奏して公表にこぎつけることができた。

どの分野でもそうだろうが、一つの論文が出て、それで全てが片づく場合はむしろ少ないだろう。我々のこの論文を読んでも、先の査読者のように正しく理解しない研究者も多いはずだ。我々としては、自分たちの主張を裏付けるデータをさらに積み重ねなければならない。実際、前出のジオテイル衛星によって得られた、より優れたデータを用いて解析を行い、その結果を再挑戦の意味をこめてジャーナル・オブ・ジオフィジックスに投稿した。さて、どんなコメントが査読者から帰ってくるか、楽しみなような不安なような気持ちだ。

(2003年6月)

後日談：新しい論文は、結局波乱無く受理された。難航した先の論文の効果と、私自身が査読者とのやりとりの中で得た経験が、功を奏したのだろう。

「すき焼き」と「SUKIYAKI」

元旦のテレビ番組で、作家の村上龍氏が、免疫の研究でノーベル賞(1987年)を獲得した利根川進氏と対談していた。村上氏が、何人かの識者に教育のありかたを問うという企画の一つである。

利根川氏は、問題を早く解く能力より問題を見つける力が重要だという話の中で、次のようにそれを表現した。「どのように質問化すれば、答えが得られる可能性があるかを考えるのです。」質問化という言い方が面白い。対話のなかでの言葉だから、何を質問化するのは省略されているのだが、こんなことだろうと想像できる。

例えば免疫について研究していると。免疫ってなんでおこるのだろう、と漠然と考えていても研究は少しも進まない。免疫という現象のどの部分に焦点を絞れば、免疫の本質の一端を明らかにすることができるだろうか、と考へなければならない。その時、どれだけ本質に接近し得る問題を選択できるかに、研究の成果が秀でたものになるか、凡庸なものに終わるかの分かれ道がある。これを、彼は「質問化」という言い方で端的に表現したのだろう。

利根川氏の子供が、米国で現地の学校と日本語学校の両方に通っていたときのエピソードが面白かった。二つの学校で作文の宿題が出ました。利根川少年は、「今日すき焼きを食べた。すき焼きというのは…。僕は肉が一番好きだ。」というような作文を、英語と日本語で書いて両方の学校に提出した(要領良い!)。さて、現地学校の先生からは「SUKIYAKI? 知らないなあ。こんど作り方を教えてね」というコメントが返ってきた。日本語学校の先生のコメントは、「肉ばかり食べていないで、野菜も食べなきゃ

だめですよ」だった。利根川氏からその話を聞いた村上龍さんは「栄養調査か何かだったら、日本語学校の先生のコメントは正しいのですけどね。作文の宿題なら、作文書いて良かった、と子供が思えるようなコメントをしてほしい」と言っていた。私も、高校生諸君の実験レポートにコメントを書く関係で、ちょっとドキッと話す話だった。

(2004年1月)

追記。ノーベル賞受賞者、小柴昌俊氏は、その著書「物理屋になりたかったんだよ」で、次のように述べている。「自然に対して「わからないこと」をどういうかたちで問いかけたらよいのか、とことん考え詰めると、適切な方法にたどりつける確率がよくなる。」

二人のノーベル賞科学者がそろって言う「問題の立て方の大事さ」は、現在の学校教育では、ほとんど教えられていない。学校教育の限界とまで、言ってよいかどうか、そこから検討しなければならないだろう。

これは、教育に対する、一つの問題の立て方だ。

みどりの遭難

昨年(2003年)の10月31日から11月3日まで、富山大学で地球電磁気・地球惑星圏学会が開催された。同学会は、地球および惑星圏で生起する電磁気学的な現象の研究を目的としている。学会が研究の対象としているのは、中性子星が発する線バーストや、太陽のコロナ爆発などの地球外の現象から、北極圏で見られるオーロラの原因となる地球磁気圏、さらには地球の内部磁場まで、極めて広い領域に渡っている。特に地球惑星圏という名前が示すように、太陽という環境の中にある地球についての研究は学会の重要な研究テーマの一つである。

学会2日目の朝、ホテルで朝食をとりながら新聞を見ていると、北アルプスの立山で撮影されたオーロラの写真が目についた。日本はオーロラ帯からは2000kmも離れているために、普段はオーロラを見ることができない。しかし、11年の周期で繰り返される太陽活動の活発期にはより低緯度までオーロラが拡大してきて、中部地方以北でオーロラが観測されることがある。滋賀県信楽にある京大の施設で観測されたという例さえある。

オーロラと言うと、頭上を光の帯が乱舞する姿を思い浮かべるが、日本からは、オーロラの上端付近(上空およそ200km)で発せられる赤色光のみを見ることが出来る。従って、日本で見るオーロラは、北の地平線近くがポーと赤く染まるだけである。しかし、10年に一度見られるかどうかと言う希な現象であるから、オーロラを研究している学会が開かれている時に起こったというだけでも珍事と言えるのに、私が泊まっていたホテルの窓からは、立山から登る朝日を拝むことができたのだから、二重の意味で偶然

だった。

立山でのオーロラ撮影成功は学会員の間で格好の話題になったが、宇宙物理関係の人たちがもっと真剣な、あるいは深刻な表情で議論しあっているのは、オーロラを発生させる原因となった太陽活動が起こった直後に、電力供給システムに回復不能な故障を起こした資源観測衛星「みどり2号」のことであった。莫大な費用をかけて打ち上げた人工衛星が、一瞬で宇宙のゴミになってしまったのである。故障の直接的原因は特定できないが、太陽活動との関係は偶然の一致とは考えにくいということであった。

日本の資源衛星第1号となるはずであった「みどり1号」は、打ち上げ早々に太陽電池の不具合のために資源衛星としての役割を果たすことなく運行がうち切られた。名誉挽回を期した「みどり2号」が、打ち上げ後わずか1年あまりで今回の事故に遭遇してしまったのである。関係者の心痛は計り知れない。早急に故障の原因を突き止め、技術的なエラーによる事故なのか、宇宙環境が衛星設計の想定を越えた厳しいものなのかを、解明しなければならない。同じことが有人飛行中に起これば、たちまち人命にかかわる非常事態に至るのである。

(2004年1月)

気候への人的影響

全地球規模の気温の上昇が懸念されている。いわゆる温暖化問題である。米国の地球物理学会(AGU)発行の新聞が、「気候への人的影響についての地球物理学会の見解という見出しの記事を掲載した(EOS, vol.84, NO.51, 23 December 2003)。記事の冒頭部分を紹介しよう。

「人間の活動が、地球の気候を変えつつある。その効果が、地球の歴史を通じてあった自然の影響に加わっている。20世紀後半に観測された全地球的な地表温度の急激な上昇は自然の影響だけでは説明できないことを、科学的な証拠が強く指し示している。」

AGUは、1998年にも気候変動についての声明を公表している。今回の声明に付けられた解説記事は、この声明が前回と異なる点を、関係者のコメントを引用して次のように強調している。

「彼は、前の声明も温室効果ガスと気候の問題について述べていたが、今回の声明は、それに加えて人類が気候におよぼす影響に言及している、と述べた。」

米国政府は、環境に関する京都議定書を批准しない(つまり、米国は環境について定められた国際的な行動基準を認めない)という態度をとり続けている。その理由は、気温の上昇は自然な変動の範囲内である、というものである。だから、全世界に会員を有する米国内の地球物理学会が、この声明を出した意義は大きい。解説記事は、

「異なった結論の論文を一つか二つどこかで見つけることもできるだろう、しかし、ちゃんと査読された論文を広範囲に検討して、そしてその証拠を総合すれば、我々が提

出した声明が、我々の現状についての共通理解だと分かるだろう。」

と述べて、一部の御用学者の反動に釘をさしている。

さて、お膝元の地球物理学会が出したこの声明に、今後米国政府がどのように反応するか。

(2004年1月)

追記：2005年7月、米国のブッシュ大統領は、温暖化の原因として人為的な要素が無視できないことを、公式に認める声明を出した。

「おばあさん仮説」

5月9日から13日まで、千葉県幕張の国際会議場で地球惑星科学関連学会合同大会が開かれた。初日と4日目に私自身の発表があったが、それ以外は他の人の講演を聴いたり、研究その他についての打ち合わせをしたりして過ごした。

3日目の午後に「文明の地球システム論的分析」という講演が、東京大学の松井孝典氏によって行われた。地球史に生じた大きな事件を上げて、巧みな弁舌で説明する講演だったが、演題にある文明と地球システムがどう関係すると主張しているのかは、私にはどうもよく理解できなかった。

講演の中で、彼は「おばあさん仮説」というのを、紹介していた。インターネットで調べると、どうやらこれは彼のお得意の説らしい。こういう仮説である。生物の中で雌が子孫を生まなくなっても生き続けているのは、人類だけである。他の種の雌は、生きている限り子供を産み続け、生まなくなれば死ぬ。子供を産まなくなった女性が、すなわち「おばあさん」である。「おばあさん」が増えると、娘の出産と育児を助けるから、娘の出産周期（お産をして次のお産をするまでの期間）が短くなる。そのため人口が激増した。

数年前に、松井氏のこの仮説を東京都知事の石原慎太郎氏が、女性週刊誌のインタビューで言い、差別発言だと物議をかもしたことがある。松井氏は一つの理論として述べ（真意は分からないが）、石原氏は女性を揶揄する目的を持って発言した（と取られた）ため、松井氏は特に問題視されなかったが、石原氏は人権侵害と言われたのだろう。

一見論理的に見える理論だが、あやしげな理論である。こういう場合、たいていの場合冷静に考えると、つまらない誤謬を含んでいることが多い。確かに「おばあさん」が大量にいる生物は人間だけかもしれない。しかし、人口増加の原因は、常識的に考えるだけでも、道具の発明と使用、農業生産力の向上、医療・衛生観念の発展等々が、考えられる。つまり複合的な原因によって起こった。人間を補食する強力な天敵のいないことも、原因の一つだろう。

同時に起こった二つのことを、一方を他方の原因と即断する誤りは、よく生じる。つまり、「おばあさん」のいることと、人口の増加は同時に見られる現象だが、だからといって前者が後者の原因とは言えない。「風が吹けば桶屋が儲かる」式の、ちょっとおもしろい話として語る分には害はないが、このような仮説を信じてしまうことによって、人口問題がかかえる真の原因、たとえば南北の経済的不均衡など、に目をつぶる結果になれば、実害をもたらしかねない。変な理論に対しては、直感的に変だなと思うことが大切だし、変だと思った場合は、なぜそう思うのかをよく考えてみることだ。

(2004年6月)

地球惑星科学と文明

前項で取り上げた松井氏の講演の後で、司会の丸山茂徳氏（岩波新書の「生命と地球の歴史」の著者の一人。この本は地球史に関する最新の知識と理論を知る上でお薦めだ）が、地球惑星科学の文明論的意味は何か、という問いかけを二百数十名の聴衆に問いかけた。ところが、その問いにだれも手を挙げないのを見て、松井氏が、この学会のレベルの低さをしめしていると言った。先の「おばあさん仮説」もそうだが、この種の刺激的な発言が彼の持ち味なのだろうか。もっとも、研究者は得てして研究に没頭するあまり、自分たちが研究している事の意味を文明史にまで投影して考えることは、めったに無いことも確かだ。

地球惑星科学の文明論的意味は何だろう。帰りの新幹線で改めて考えた。

人類が生息する地球表面は、大気、海洋、大陸、および生命の四つの要素からなると言ってよいだろう。それらはそれぞれ単独に存在するわけではなく、相互に影響しあって存在している。また、地球表面は、当然地球内部における変動の影響を受ける。地震や火山活動はその影響のごく一部と言っても差し支えない。すなわち、これら諸々の全体は、太陽系の歴史の中に運命的に組み込まれた環境の中で、有機的に関連し合う一つのシステムを構成している。これを地球システムと言う。地球惑星科学は、この地球システムが過去に大変動を経験し、これからも変化し続けるものであることを明らかにした。

複雑なシステムには、小さなきっかけが大きな結果を生むメカニズムが潜んでいることがある。たとえば、分解しない安定な物質である（したがって安全と思われた）フロ

ンが、オゾン層を破壊し、生命が作り上げた紫外線のためのバリアを破壊し始めた。また、豊かな生活が大気中の二酸化炭素濃度のバランスに影響を与え、急激な温暖化を招き、農業への影響が懸念されている。このような地球システムの発見と解明は、人類の文明に大きな影響を与えずにはおかないだろう。事実、地球上の経済は、地球システムを無視して暴走することは、今日では許されない。

改めてこう考えてみると、19世紀の地質学の興隆から数えてこの百数十年の間に、地球惑星科学が人類にもたらしたものは、ひょっとしたら物理学が20世紀に成し遂げた成果である相対性理論や量子力学に匹敵する、あるいはそれ以上の、意味を持つのかもしれない。

(2004年6月)

三大発見

“Earth, Energy, and Environment”

最近の理科離れの問題を議論し合う会議の席で、科学の今日的意義とは何かが、議題になった。会議そのものについての詳しい紹介は、別の機会にゆずることにして、ここではその会議をきっかけにして考えたことを書きたい。

科学に意義があるとして、では科学が人類に為し得た最も重要な貢献とは何だろうか、という事を考えた。結論から書こう。科学には生活を便利にしたり、病気を克服したりと、様々な面があるが、それより、科学上の発見が人々の日常における物の見方そのものに大きな影響を与えることがある。そのような発見こそ、人類史における科学の最も大きな貢献と言えるのではないだろうか。

例えば、エラトステネス(前275-前194年)は、地球が球形であることを知っていたようだが、我々が生きている舞台が平面ではなく球形であると認識することの意味は、単に知識の上のことだけにはとどまらない。それは、平面で有ればどこかが中心になるが、球面上ではそうはいかないからである。世界中の国で、およそ世界地図を製作するだけの文化を有する国は、自国を中心とした世界地図を作る。しかし今日、物理的に自国が世界の中心であると信じている人は少ないだろう。この平等性は、長い年月をかけて心理的にも平等な世界観を人類にもたらしつつある。

「エネルギー」の概念が完成されたのは19世紀半ばである。力学的エネルギーが熱エネルギーに変わるように、エネルギーの形態は変化するが、エネルギー量は増加も減少もしないことが明らかにされ、永久機関が否定された。

無からエネルギーを作り出すことはできない。この考えを得ることによって、人類は、地球上で得られるエネルギー源を大切に使わなければならないことを知った。

また、我々は、地球の大気や海洋が、未来永劫に亘って現在と同じ状態を保ち続けるとは考えていない。この「環境」の有限性と可変性は、最近の 50 年ほどの間に理解されてきた新しい発見である。しかし、この発見は少なくとも日本では、極めて速やかに人々の意識に共有されるようになった。日本人が好む澄んだ水や大気に対する感覚が、環境の変化に敏感に反応した結果かもしれない。経済活動に制限を加えてでも、環境を守らなければならないと、現在われわれは考えている。

ここに上げた、「地球」と「エネルギー」と「環境」に関する発見は、科学がなしとげた最も重要な発見に属するものであることに、多くの人々が同意するだろう。自然の謎を解き明かすこと、これが科学の価値である。しかし、科学は単に我々の知識を増やすだけではない。新しい知識が多くの人に共有されることによって、人類の意識そのものが変わっていく。このことにこそ、科学という営みが持つ人類史的な意味があるのではないだろうか。

(2005 年 1 月)

最近の太陽系事情

「冥王星の軌道のさらに外側に、新しい天体が発見された。直径は 490km で冥王星の 2300km よりかなり小さい。惑星と呼ぶには小さすぎるようだ。近日点は 35AU (1 AU = 天文単位は、太陽と地球の間の平均距離) だが、遠日点は 130AU と、冥王星の遠日点 49AU をはるかに越えている。」(これは、1997 年に発行した「宇宙通信 No.10」の記事の一部である。結局この天体は惑星とは認定されなかった。)

その後、冥王星の軌道の外に多くの天体が発見されている。2004 年に発見されたセドナ (仮名) は、冥王星と同程度の大きさがあるらしい。これも、惑星として認定すべきかどうか議論されている。

太陽系内の天体の仲間は、直径が数 km から数十 km の小天体は別にすると、もう発見され尽くされて、1930 年の冥王星の発見以来、もう新しい発見はないと思っていたが、まだまだそうは言い切れないようだ。比較的最近の発見としては、1978 年の冥王星の衛星の発見がある。冥王星はその発見 1930 年以来、単独の惑星と見られていたが、冥王星の直径の約半分の直径(約 1000 km)をもつ大きな衛星を伴っていることが分かった。その衛星は、冥界の王のお供ということで、ギリシャ神話の三途の川の渡し守、カロンと命名された。カロンと冥王星との距離は極めて近く、約 19000 km である。地球と月の距離 38 万 km と比べて、いかに近いかがわかる。こんなに近いため、二つの星は互いに同期しあい、常に同じ面を向け合っている。カロンは衛星としては異常に大きいので、プルート (冥王星)・カロン系は、惑星と衛星と言うより二重惑星と言う方がよいかもかもしれない。



小惑星アイダとダクティル (NASA)

小天体の仲間は多彩である。探査衛星ガリレオが、10,300 km の距離まで接近して撮った小惑星アイダのクローズアップ映像が楽しい。長径 58 km の細長い形のアイダの傍らに、直径 1.5 km の歪んだ球形をした衛星ダクティルがちょこんと付いている。探査衛星ガリレオは、ダクティルにも 4000 km まで接近して撮影している。NASA の人たちの好奇心には脱帽したくなる。アイダは写真のように不定形だから、その周りを回るダクティルの軌道はずいぶん複雑になるだろう。ダクティルはアイダにぶつかったりしないのだろうか心配になる。

小惑星にはひょうきん者もいる。2004 年 9 月に地球に 156 万 km まで接近したトータチスである。この小惑星は 4.6×2.4×1.9 km の「へ」の字型をした天体である。普通天体は一つの軸の周りに自転しているが、この小惑星は 5.4 日の周期で自転しながら 7.35 日の周期でトンボを切る。つまり、紙面上下方向の軸の周りに回転しているかと思うと、左右方向の軸の周りに回転するのである。毛利衛宇宙飛行士がスペースシャトルの中で、開いたペンチ(やはり「へ」

の字型をしている) を空中で回転させているのを、記録ビデオで見たことがある。あの踊るようなペンチの動きを、トータチスが宇宙空間で一人で続けているところを想像すると、楽しいような、もの悲しいような、感じがする。
(1997 年 8 月 / 2005 年 5 月加筆改訂)

(注)この稿は、木下清一郎氏の著作を読んで考えた事です。私が意識とは何かという問題を最初に思ったのは、高校生の時でした。最初のぎっくり腰をやったのも同じ頃ですが、両方ともある日突然にやってきました。ついでに言えば、両方とも当時生徒として通っていた茨木高校の廊下でのことでした。校舎内のどの廊下かまで覚えているのが、自分ながら妙な気がします。なぜ他の人の考えることが自分に分からず、自分の考えることが人に分からないのだろうか。それぞれに意識を持っていることは確かなのだが、その有り様はそれぞれ伺い知ることが出来ないのはなぜか、という疑問を突然持ちました。もちろん解答を得ることはなかったので、それ以来今日まで、腰痛と共に断続的に私を襲う問題です。

意識についての本は何冊か読みましたが、中でも木下氏の本から大きな感銘を得ました。下の拙論は、読了直後に書いた物ですが、今読んでもその時の気持ちの高ぶりが感じられます。厚かましくも木下氏に拙論を送って、批判を乞いました。批判的な内容も含むにも関わらず広い心で受け止めていただき、受理した旨の丁寧な返事をいただきました。「宇宙通信」の記事ではありませんが、さらにその後考えた補記1, 2と共に、いわば番外編として掲載します。

「心の起源 - 生物学からの挑戦 (木下清一郎著)」を読んで考えたこと

物質の世界、生物の世界と同じ意味で、心は一つの世界を形成している。生物の世界が物質の世界に作りつけられているように、心の世界は生物の世界に作られている。木

下はこれを、心の世界は生物の世界の、生物の世界は物質の世界の入れ子になっていると言う。心の世界がどのような世界なのかは、まだ不明である。しかし、物質と生物がそれぞれの世界を形成する、と述べる時、その世界はどのような概念として捉えられているのだろうか。それが、はっきりすれば心の世界をその概念の枠組みの中で、考えることが可能である、と木下は考える。以後、物質の世界、生物の世界、心の世界は、短く物質界、生物界、心象界と書くことにする。

世界の定義

世界は以下の4つの要素を持っている、と木下は考える。特異点、基本要素、基本原理、と自己展開則である。木下は、これらを「新たに世界を開くための条件」と呼んでいる。(この稿では、「自己」は別の場面で用いたいため、単に展開則とする。)物質界では、「ビッグバン」、「素粒子」、「熱力学第一法則」、「熱力学第二法則」が、4つの要素にあたる。ビッグバンは時間の始まりとして広く認められている。また、基本要素に素粒子を置くのも一般的である。素粒子を、クォークを含めて考えるとよいだろう。木下は物質界の基本原則をエネルギー保存則としているが、自己展開の熱力学の第二法則に合わせて、ここではエネルギー保存則の別名である熱力学の第一法則とした。エネルギーは、力を距離について積分した量であるから、第一法則は力と空間についての原理と言い換えてもよい。従って、木下が言う基本原理とは、その世界をまとまりのある世界として成り立たせるための法則と、言って良いだろう。物質界の現象を記述するためには、それ(基本原理)だけでは不十分なことが物理学で知られている。低温と高温の二つの物体を接触して置いておくと、高温物体から低温物体へ

熱エネルギーが移動して、やがて両者は等しい温度になる。熱エネルギーが移動しただけだから、エネルギー保存則は充たされている。しかし、このような状態の変化をエネルギー保存則から導き出すことはできない。そこで、この自然界で状態が変化していく方向性を規定しているのが熱力学の第二法則である。

木下は、分子が自己複製能力を持ったときを、生物界の特異点と位置づけている。そして核酸を基本要素、自己増殖を基本原理、自然淘汰を展開則として位置づけている。しかし、物質界との対比を考えると、これらの定置は妥当なものとは言えないと、中井は考える。素粒子は、物質の基本要素であると同時にそれ自身物質である。物質あるいは物体は、素粒子が基本原理である力と空間の法則に従って集まることによって形作られている。核酸がいくら集合してもそれ自身生物にはなり得ない。従って、中井は生物の基本要素としては、細胞を充てたい。ビッグバンの直後は、素粒子はまだ出来ておらず、光のみの世界だったと考えられている。生物界にも、分子が自己複製能力を獲得して核酸ができたが（この時点を原誕生と呼ぼう）、まだ細胞の誕生には至っていない期間があったと想像できる。核酸が情報を伝える分子であるという点も含めて、生物界の核酸と物質界の光を対置することは、適切なように思える。

細胞が集合して多細胞生物を作り、また多くの生物が互いに寄り集まって生物社会を営んでいる。この生物界を形作っている基本原理は、何だろう。木下は自己増殖を基本原理としている。しかし、増殖、あるいは生殖は種が生き延びていくための手段ではあるが、同時に生殖に伴って遺伝子の組み替えが起こり変化をももたらす。従って、増殖はむしろ展開則のカテゴリーに属するのではないだろう

か。上述したように物質界の基本原理は、その世界を形作るものでなければならない。この働きを単純に生物界に当てはめると、細胞と細胞をつなぐタンパク質が基本原理になってしまうが、タンパク質自身は物質界に属するものである。ここでは基本原理の働きそのものを、生物界に適した言い方に変える必要がある。つまり生物界の基本原理は、生物を生物として「保つ」働きをしているものと考えればよい。生物は、変化する外界（環境）に対して体内の状態を一定に保つ機能を持っている。例えば、体温を一定に保つ機能や体液の成分濃度を一定に保つ機能、等である。生物学では、それらの働きを総称してホメオスタシーと呼んでいる。これは、個々の生物に適応される概念だが、生物の集団にも適応することができる。例えば、小さな魚は、集団で行動する事によって、捕食される機会を減じ、生殖する機会を増やす、つまり種を保つ工夫をしている。これもホメオスタシーの一面と見ることができる。木下の説の基本的な欠点は、生物界を考えるに当たって、個々の生物の働きしか考慮していない点にある。同じ欠点は、木下自身が指摘しているように、心象界を考える際にも見られる。

木下は、生物界の展開則は自然淘汰であると言う。自然災害によって絶滅されるという可能性もあるが、他の生物との生存競争に敗れて淘汰される場合もある。このとき当然、淘汰する側の生物がいる。生物界全体の変化の方向として、淘汰される側に重点を置くか、する側に重点を置くかで同じ現象の見方が変わってくる。少し観点がずれるが、同じ種内で適者が生存していく場合、適者生存が起こる前に種の多様化が準備されていなければならない。異種間の淘汰の場合もそうで、そもそも淘汰が起こる前に多様な生物が生まれていなければならない。つまり自然淘汰を裏返

して見れば、種の多様化になる。この見方から言えば、自然淘汰は種の多様化の必然的な結果であって、それ自身を展開則とすることには抵抗を覚える。そこで中井は、生物界の展開則は多様化則としたい。これは、遺伝子情報の多様化と言い換えることもできる。

ここで一つ指摘しておきたい物質界と生物界との、興味深い関係がある。生物界は、物質界の基本要素（素粒子）を用いて、その基本要素（細胞）を作っている。両世界の間の関係はそれだけには止まらない。生物は、物質界のエントロピーを一時的に低下させるシステムである。すなわち生物界の基本原則ホメオスタシーは、物質界の展開則である熱力学の第二法則に逆らうことによって成り立っている。このような見方は、後述するように心象界を考えるときにも参考になる。

物質界と生物界のまとめ。

	特異点	基本要素	基本原理	展開則
物質界	ビッグバン	素粒子	熱力学第一法則	熱力学第二法則
生物界	原誕生	細胞	ホメオスタシー	多様化則

基本的には木下の考え方に沿いながら、しかし、生物界については彼の説を大幅に変更する結果になった。物質と生物についてのこのような世界観を手本として、心象界を探求してみよう。

心象界

木下が心象界を考えるとときの基本的な立場を、中井は次のように想像している。生物界を越えるものとして心象界があるかどうかという問題は、主観的な立場の違いによっ

て結論が左右される。しかし、これは問題の立て方が悪いのである。むしろ心象界が在るとして、それが世界としての条件を備えているかどうかを検討すればよい。心象界を描写することができれば、広い意味で心象界は存在すると言することができる。中井もこれに同調する。

心の働き

木下は、もし心象界が開かれるとするなら、それらは記憶の成立を契機としてであろう、と言う。物事を記録しただけでは記憶とは言えない。記録したことを照合するという機能が必要である。照合機能の対象と成りうる記録を記憶と呼ぶ。一つの記憶を照合したという記憶が残され、それが次の照合の対象となる。この記憶と照合の循環によって、記憶が持つ諸特性が発生する。

木下は、生物は記憶によって初めて過去を持つと言う。過去が記憶として堆積する事によって、記憶は時間を刻み始める。しかし、中井はこれを暫く置いておきたい。なぜなら、時間は、記憶から初めに派生してくる認識というより、かなり進んだ心の働きによって初めて生じうるもののような気がするからである。次に、木下は、時間の誕生とともに空間が広がり始めると言う。時間差によって自らの移動の認識が生じると。中井は次のように考える。生物がA, B 二体の獲物を見て、どちらの獲物がより狙いやすいかを判断するとき、両者の位置に対する記憶を比較しなければならない。従って、空間認識は記憶によって生じうると言することができる。ここに、A, B が左右に離れた位置にいるとする。捕食者はAを見て、Bを見て、Aの方がどうやら近そうだと判断したとする。しかし、自分がBを見ている間にAは、もう逃げてしまったかも知れない、と思うこともあるだろう。このとき捕食者は、確かに時間の経過を

認識している。このような判断は、しかし、単に記憶の照合によってなされるものではなく、別の認識が必要である。それは、自分がBを見ている間という時の、自分すなわち自己の成立である。時間は、自己の成立によって初めて得られる認識のようである。

記憶の照合が行われる度に、新たな記憶が付け加わっていく。やがて、記憶と記憶の間の照合が行われるようになって、そこに、行動の決定に至る論理が生まれる。赤い実と青い実の二つの実があるとき、赤い実を食べて不味かった記憶と、青い実を食べて旨かった記憶を比較して、青い実を食するという結論を導き出す。記憶の集積によって論理が生まれるという木下の指摘は肯定できる。

木下は、論理を心が働く場として捉える。心が働くもう一つの間として彼は感情をとり上げる。感情は、快・不快の感覚が記憶されることによって生じる。論理と感情とからなる二次元的な座標上に位置づけられた記憶を、彼は表象と呼ぶ。表象は時間を第三の軸として、時間と共に位置を変えて一つの軌跡を描く。表象の軌跡の総体がすなわち心である。

心の働きに感性と論理性をもってくるのは、新しい発想ではない。それらの働きについては脳部位の機能分化すら言われている。両機能がいずれも記憶から、派生することを指摘している点がユニークかもしれない、中井はそのように明言した他の文献を知らない。また、両機能を座標軸としてとらえて、表象を位置づけることによって心の働きを視覚化している点を評価する事ができる。

自己の成立

記憶の集積が、論理と感情の獲得の条件となった。論理はコンピュータに付加することが可能だから、心象界独自

の働きとは言えない。一方、感情は、これこそ心象界独自の働きであると考えられることが多い。しかし、感情も脳内物質の極僅かな多少によって左右されることが分かっている。いずれも、従って、生物界に属する事象であって、心象界に独自に存在する働きではない。しかし、表象の軌跡の集合を総体として捉える働きは、心象界のユニークな働きと言って良いだろう。これを統覚と言う。木下は、統覚の出現こそが心象界の特異点であると言う。以下彼の結論のみを記すと、心象界の基本要素は表象、基本原理は自己回帰と抽象作用、展開則は意志の自由ということになる。

これらの位置づけが妥当であるかどうかは、それらが正しいかどうかではなく、それらが有用であるかどうかによって決まる。有用さとは何かについては、物質界の位置付けを見れば明らかである。上に示した物質界の位置付けは、近代科学が歴史を通して獲得してきた自然理解のための概念を、極端に要約したにすぎない。このような概念の枠組みを用いて、人類は物質界を理解してきたのである。生物界についても、同様の有用性を持ちうることを念頭において、中井は木下とは異なる位置付けを行った。心象界についての木下の議論に、中井は晦渋さを感じる。(つまりよく理解できない。)木下の議論の一つ一つの問題点を指摘するよりも、ここでは中井自身が考える心象界を記したい。

記憶されることによって、生物界の情報の流れに一時的な停滞が生まれる。核酸も情報を保持するが、その目的は自己複製に限られる。それに比べると記憶による情報の保持と照合は、はるかに多目的に、かつ生物界の要請から独立した形で行われる。木下は、表象の時間軸に沿った軌跡の総体を認識する能力を統覚と言い、統覚の出現をもって

心象界の特異点とした。これが妥当であるとすれば、心象界では心が完成された形で出現することになる。記憶は生物界の情報の流れに大きな変化をもたらした。木下が言うように記憶の成立が統覚獲得の条件だとすれば、記憶の成立自身を特異点と見なすべきだろう。記憶には本能や条件反射のように、心の働き、すなわち統覚が関与しないものがある。ビッグバンの直後に光りだけの宇宙が考えられるように、また、原誕生の後に核酸のみの生物界が考えられたように、記憶が成立して心の基本原理が確立するまでの状態があり得ると考えられる。それが、本能と条件反射に支配された心象界であろう。

前節で時間の認識には自己の成立が必要だと述べた。ここで自己とは統覚能力をもつものである。感情や論理も自己があって初めて成立しうる。自己があって記憶から感情や論理が紡ぎ出されるのか、感情や論理が自己を成立せしめるのか、という問題の立て方は不毛である。感情や論理は自己の属性である。記憶の集積によって感情と論理の属性を具えた自己が誕生した。物質界において、光から物質が作られる段階がある。ここでなぜ作られるかという質問に、物理学は答えられない。しかし、どのようにしてという質問には、かろうじて答えられる。記憶から自己が生まれる過程は、脳研究の重要な課題であるが、自己の基本的な要素に近接しようとする、対象がぼやけてしまうというジレンマに陥っている。これは自己をもって自己を観察しようとすることによって生じる困難である。物質の極小の姿を観察しようすると、観察する側も物質であるために、観察者と被観察者との間に相互作用が生じて、確率的にしかその状態を捉えられないという事情と似ている。ここでは物質界の素粒子、生物界の細胞に倣って自己のモジ

ュール、素自己というものがあると仮定しよう。木下は表象を基本要素としているが、表象は論理と感情の座標上の点であるから、自己のモジュールにはなり得ない。素自己は、感情と論理の座標の最も基本的な単位を意味する。木下が第5章図9に示している、快 - 不快、適 - 不適を組み合わせた座標は素自己の候補の一つとして考えられる。このような単純な素自己を組み合わせ、多次元的な論理と感情の座標をもった複雑な自己が形成される。

素自己を心象界の基本要素とすることによって、心象界の特性が見えてくる。生物はどの段階から自己を持ち得るのだろうか。子育てをする生物は、おそらく自己を有する。なぜなら、子供に食物を与えるには、自分と子供との違いを認識していなければならないからである。しかし昆虫になると定かではない。ここで重要なことは、大腸菌と人間との間に様々な細胞の形態があるように、自己に様々な段階があるということである。生物界では人間に近づくほど細胞の機能分化が進むが、それと同時に異なった種類の細胞を有機的に動かせる機能を持つようになる。ホメオスタシーは、そのような機能を含む幅広い概念である。心象界でも、多次元的な素自己を一つのものとする機能がひとつである。前出のように、表象の軌跡の集合を総体として捉える働きを統覚と言う。統覚は、素自己を統括することでもできる。かつて精神分裂病と言っていた症状を、今日は統合失調症と呼んでいる。統覚失調症ということもできるだろう。この統覚に働く基本則こそ、心象界の基本原理と呼べるものであろう。それにはまだ名前が無い。仮に統覚の第一法則としておく。

二つの物体が接近するとエネルギー保存則によって位置エネルギーが減少して運動エネルギーが増す。そのため

二物体は再び離れていく。このように物質界の基本原理は、個々の物体の独立性を保つ役割をしている。また、生物界の基本原理（ホメオスタシー）は、生物を一定状態に保つ機能そのものであることを上に述べた。従って、心象界の基本原理である統覚の第一法則も、自己の安定性を保証しているはずである。

生物界の展開則は、種の多様化であると述べた。多様化が進行すると、しかし、最後には生物界の平準化が起こる。例えば、地域 A に種 a が生息し、地域 B に種 b が生息していたとする。地域 A に種 b が発生すると、地域 A はより多様になるが、地域 B にも種 a が発生すると、地域 A と B の個性が失われて生物界は平準化する。ミクロに見たときの多様化は、マクロに見たときの平準化に成り得るのである。平準化された生物界は一挙に物質界に還元される可能性を内包している。心象界は、このような生物界の危険をはらんだ多様化を、一時的に阻止する傾向を持って開かれる。これは、ホメオスタシーが熱力学の第二法則にさからって生物界で機能することに並置され得る関係である。二つの自己が接近するとき、統覚の第一法則によって両者の間の緊張が高まる。その緊張が二つの自己を元の距離まで押し返す働きをする。統覚の第一法則は、生物の接近に制限を加え、結果的に無差別的な生殖を防ぎ、多様化に対して抑制をかける。

物質界に生物界が入れ子となって開かれ、物質界の展開則を阻止する傾向を有し、生物界に心象界が入れ子となって開かれ、生物界の展開則を阻止する傾向を有する、と言っても、それぞれ入れ子となった世界は元の世界の一部であるから、元の世界の展開則を根本的に制止するだけの働きはないだろう。それにも関わらず、このような形で世界

が新しい世界を内部にはらんでいく事の、意図は何かという問題は、心象界を記述するという問題をはるかに越えた大きな問題である。

基本原理が元の世界に果たす役割は斯くの如くに考えられるが、基本原理の目論見はその世界自身の展開則によって打破される。前に、二物体が接近すると運動エネルギーが増加し、再び両者は離れていくと上に述べたが、接近時の状況によっては運動エネルギーは熱力学の第二法則に則って熱エネルギーに変換される。やがて熱エネルギーが拡散すると、二物体からなる系は結合してより安定な状態になる。二つの自己が接近したときも、その結果より安定した二自己からなる系が作られることがしばしば観察される。例えば、野生生物の場合の番いであり、人間の場合の夫婦である。そのほか、友人との関係、ペットと飼い主の関係などもその例である。これらの現象を物質界の現象と対照させると、二自己が接近するとき統覚の第一法則によって緊張が高まるが、条件によっては緊張はやがて解消していく。それによってより安定な系が作られる。グループ活動で用いられるアイス・ブレイクと呼ばれる色々な手段は、緊張の解消を積極的に促進するためである。二つの自己の接近によって生じた緊張が自然に解消していく様子を記述するのが、心象界の展開則であろう。これを統覚の第二法則とする。

統覚の第二法則は、上述したように独立性を保とうとする自己を宥和させる働きを持つ。心理学で用いられる共感性は、第二法則の一つの形であろう。熱力学の第二法則に複数の表現形があるように、統覚の第二法則にも複数の表現が可能と考えられる^(注)。自己は、独立性を望むと同時に孤独感を持つ、という表現も可能である。このように述

べると、統覚の第二法則は、人間社会に宥和をもたらす結構な法則であるように見える。しかし、熱力学の第二法則が宇宙の未来を均質な「死んだ宇宙」と予想し、多様化が生物界消滅の危機をはらんでいるように、統覚の第二法則も、そこに別の原理が出現しない限り、心象界になんらかの終末をもたらすことが予想される。その可能性の一つとして、次のようなことが考えられる。人間の歴史には、複数の自己の間の緊張が新たな歴史的な進展をもたらしてきたという面がある。極端な例では、戦争が科学技術の進歩をもたらした。戦争とは最も離れたところにあると思われる医学の分野でさえ、そうである。究極の自己の宥和は、心象界から緊張を失わせ、新たな展開をもたらす力を奪う可能性がある。人類の宥和がもたらす結果として考えるには、あまりに悲観的な結論だが、その結論を避けうる理論は今のところ浮かんでこない。

(2003年6月)

(注)養老孟司氏は「意識は共通点を見いだす方向に働く」と書いている(「バカの壁」)。心の第2法則の別の表現と言える。

補記1：生物界にとっての心象界の意味

全地球上が単一の生命によって覆われるという選択もあり得ただろう。(A.C.クラークにそのような設定のSFがあったように記憶しているが、残念ながら書名を思い出せない。人間が考え得ることは、存在可能性がある。)しかし、地球上では、複数の個体で生物世界が構成されている。複数個体の世界の利点は、危険の分散であるが、一方で、初期の少数個体の段階では、個体分布の希薄さのために増殖が不可能になる危険性がある。その保障として、同種の

生物が群れる傾向を与えた。群れさせるための方法は、特殊なフェロモンの働きである場合もあるが、人間の場合はそれが心の重要な働きである。これらの二つの働きの間には、無数の機能段階がある。さまざまな固有の機能を用いて、生物は同じ種の異性を他の生物から識別しているのである。つまり、心象界は、放っておくと分散して増殖に支障を来す可能性のある個体を、群れさせておくという働きをする。これが、生物界にとって心象界が持つ、重要な意味の一つである。従って、孤独感、心のもっとも基本的・原初的な働きとすることができる。しかし、やがて生物界がたぶん期待していなかったことが起こる。異性を他の種から識別する能力は、自と他を区別させ、自己の形成をもたらした。自己を認識する能力は、生物界の細胞膜のように、その内側と外側を区別する働きをし、心の第一法則である自己保存法則が生まれる。前述したように、心象界の第一法則は、同種の間ですら自己と他との距離を保つ方向に働く。この働きは、生物界が当初予想しなかった働きだろう。

補記2：言葉の働き

物質界の第一法則であるエネルギー保存の法則は、力の法則である。これから類推して、心象界の第一法則も、一種の力の働きをするはずであると述べた。このことは、言葉が持つ働きを考えると、より深く理解することができる。原子間に電磁気力が作用して、結晶が作られる。物理学では、それを有限の対称性が生じるという。言葉が、表象に有限の対称性を与えることによって、見通しの効く論理が生まれた。言葉は表象間に働く力である。言葉自身、表象の一つの形であるが、素粒子である中間子が核子間の力を媒介するように、異なる表象を結びつける。言葉は自己の

内側で働くと同時に、外側の他にも働きかける。言葉が、複数の異なる自己を引きつけたり引き離したりするのは、周知の事実である。このような言葉の働きを、心象界の第一法則とすれば、それが一種の力としての作用をもつことが、よく理解できる。

重要なことは問うことであって、答えをいそぐことではない。

チャールズ・ダーウィン

著者略歴：

1969年 大阪府立茨木高等学校卒業
1974年 神戸大学理学部物理学科卒業
1976年 神戸大学理学研究科修士課程修了
1978年 大阪府立牧野高等学校着任
1988年 大阪府立豊島高等学校着任
同年 理学博士（京都産業大学理学部）
1992年 大阪府立茨木高等学校着任
1995年 田中館賞受賞（地球電磁気・地球惑星圏学会）
2005年 大阪府立茨木工科高等学校着任

趣味：

山の水彩画

山彩展 < <http://www.asahi-net.or.jp/~HX9H-NKI/> >

高校生へのサイエンスレター「宇宙通信」

2005年8月 発行

著作者 中井 仁

発行者 中井 仁

印刷所

製本所