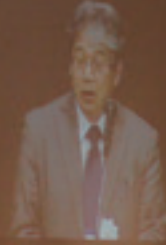


日本地球惑星科学連合大会 25周年記念式典
Commemorative ceremony for the 25th anniversary of the founding of JpGU

日本地球惑星科学連合大会 25周年記念式典

- 開会挨拶
日本地球惑星科学連合会会長 菅野浩司
- ご挨拶
国土交通大臣 石川 順三
国土交通副大臣 宇 野 宗正
- 招待スピーチ
東京理科大学
東京理科大学副学長 菅野 浩司
- 閉会挨拶
国土交通副大臣 宇野 宗正



JGL
Japan Geoscience Letters

2014年度公益社団法人日本地球惑星科学連合
フェロー授賞記念特集号





Japan Geoscience Letters

2014年度日本地球惑星科学連合
フェロー授賞記念文集



JpGU フェローご受賞おめでとうございます



公益社団法人日本地球惑星科学連合 会長
津田 敏隆 (京都大学)

公益社団法人日本地球惑星科学連合 (Japan Geoscience Union, JpGU) は地球惑星科学およびその関連分野にかかわる研究者、学生、技術者、教育関係者、科学コミュニケーター、一般市民の方々など、約 10,000 名の個人会員ならびに地球惑星科学に関連する 50 の学協会を団体会員とする学術団体です。地球物理学、地質学、鉱物学、地理学等に関する学会を網羅する世界にも類を見ない総合的な地球惑星科学の連合組織として、我が国における地球惑星科学コミュニティの相互理解、意見集約や合意形成をはかると同時に、国や一般社会に対して提言や情報発信を行っています。

その日本地球惑星科学連合の歴史は 1990 年に始まります。1980 年代の様々な議論の末、5 学会が同じ時期に同じ場所で学会を開催する「地球惑星科学関連学会合同大会」を 1990 年 5 月に開催しました。その結果、「地球惑星科学関連学会連絡会」が発足し、2001 年からは常設の組織である「地球惑星科学合同大会運営機構」が作られ、2005 年 5 月に開催された合同大会の際に、24 学会が参加する「日本地球惑星科学連合」が誕生しました。その後、連合は一般社団法人を経て、2011 年 12 月に公益社団法人になり、現在では世間にも広く認知される学術団体となりました。

JpGU の活動が 25 年を迎えることを記念して、幾つかの記念事業を立ち上げましたが、その一つに顕彰制度の充実があります。次世代の研究者層を奨励すべく、すでに「学生優秀発表賞」を各サイエンスセクションで実施しておりました。一方、新たに 2014 年度から地球惑星科学に多大な貢献をされた研究者に対し「フェ

ロー」の称号を贈り、その業績を称えることに致しました。このフェロー制度は地球惑星科学研究領域におけるパラダイムシフトやブレークスルーもしくは発見などを中心に、地球惑星科学の発展に著しい貢献をされた先達、また日本の地球惑星科学の発展あるいは地球惑星科学の知識普及に貢献された方々を顕彰することを目的としています。2014 年度は 43 名のフェローを選び、2014 年 5 月 1 日にパシフィコ横浜で開かれた連合大会 25 周年記念式典においてメダルと賞状を贈呈しました。

この小冊子はフェロー受賞者の方々に思うところを自由にご執筆いただいたものです。目次を兼ねた受賞理由の一覧をご覧いただければ、非常に広い範囲にわたるご研究を一望できるかと思えます。これは、我々日本地球惑星科学連合そのものが宇宙惑星科学、大気水圏科学、地球人間圏科学、固体地球科学、地球生命科学という 5 つのセクションを通じて、地球惑星科学全般を担う学会であることの証です。これらのセクションは力を合わせて地球惑星科学の総合的な理解に向けて研究を進めています。つまり、太陽系内及び系外惑星の多様性の理解を通して宇宙に開いた地球像の創出を行い、生命を育む地球惑星環境を探索し、さらに惑星圏・表層環境・内部活動の変動機構解明と高精度予測や地球環境と人間活動の関係解明、災害・地球環境問題の解決を目指しています。我々は研究成果の社会への還元も忘れてはなりません。安心・安全で持続的発展が可能な社会の構築に貢献する使命があると考えています。

今回選ばれたフェローは、このような広汎な地球惑星科学の大目標の学問的基礎ならびに先端研究をなさった先生方です。改めてここにフェローとなられた方々に敬意を込めてお祝いを申し上げますと同時に、会員の皆様にはフェローの先生方の辿られた研究の道をこの小冊子から読み取って下さることを願います。



2014 年度日本地球惑星科学連合フェロー受賞者リスト

右側の数字は掲載ページを表す



阿部 豊

東京大学准教授

専門分野：惑星物理学

受賞理由：日本地球惑星科学連合設立へ向けての献身的な貢献、および惑星科学、特に地球型惑星の初期進化に関して顕著な貢献をした功績により

01



ジョセフ・カーシュピンク

カリフォルニア工科大学教授、
東京工業大学地球生命研究所主任研究員

専門分野：地球生命科学

受賞理由：磁性細菌化石の発見、スノーボールアース仮説の提唱と証明、火星生命起源説の提唱など、生命科学と地球科学にまたがる顕著な功績により

09



荒牧 重雄

東京大学名誉教授

専門分野：火山学、特に火山地質学、火山岩岩石学

受賞理由：火山学、特に火山地質学、火山岩岩石学分野における顕著な功績、および火山防災意識向上への顕著な貢献により

※今回の原稿執筆はご辞退されました



唐戸 俊一郎

イエール大学教授

専門分野：地球惑星内部物理学

受賞理由：固体地球物理学、特に鉱物物理学、地球内部ダイナミクス分野における顕著な功績により

10



池田 元美

北海道大学名誉教授

専門分野：海洋学、特に中規模力学、海洋データ同化、北極気候変化

受賞理由：海洋学、特に中規模力学、海洋データ同化、海氷モデリング研究において顕著な貢献をした功績により

02



川口 淳一郎

宇宙航空研究開発機構教授

専門分野：惑星探査

受賞理由：惑星科学、特に惑星探査分野における「サンプルリターン」を成功へ導くなどの顕著な功績により

11



入倉 孝次郎

京都大学名誉教授、愛知工業大学客員教授

専門分野：地震工学、特に強震動地震学、応用地震学

受賞理由：地震学、特に強震動地震学・応用地震学分野における顕著な功績、および国内外の人材育成に多大な貢献をした功績により

03



木村 磐根

京都大学名誉教授、大阪工業大学名誉教授、
応用科学研究所代表理事

専門分野：超高層電波科学

受賞理由：日本地球惑星科学連合黎明期の多大な貢献、および超高層物理学、特にプラズマ波動の伝搬特性研究に関して顕著な貢献をした功績により

12



上田 誠也

東京大学名誉教授

専門分野：固体地球物理学、プレートテクトニクス、地震予知

受賞理由：岩石磁気学・地球熱学・プレートテクトニクスにおける顕著な功績、および「新しい地球観」の普及に国際的な多大な貢献をした功績により

04



久城 育夫

東京大学名誉教授

専門分野：実験岩石学

受賞理由：岩石学、特に実験岩石学、マグマ成因論分野における顕著な功績により

13



尾池 和夫

京都大学名誉教授、京都造形芸術大学学長

専門分野：地震学

受賞理由：地震学における顕著な功績、および「日本ジオパーク」など幅広い視点からの地球惑星科学の知識普及に多大な貢献をした功績により

05



熊澤 峰夫

東京大学名誉教授、名古屋大学名誉教授

専門分野：固体地球物理学、高圧高温物理学

受賞理由：高圧科学、実験惑星学、固体地球物理学、地球史、地震学における顕著な功績により

14



岡田 尚武

北海道大学名誉教授

専門分野：層序学、古海洋学

受賞理由：古生物学、古海洋学分野における顕著な功績、および国際深海掘削計画における顕著な貢献をした功績により

06



河野 長

東京工業大学名誉教授

専門分野：地球電磁気学

受賞理由：地球電磁気学、特に古地球磁場強度、地球磁場シミュレーションに分野における顕著な功績により

15



岡部 篤行

東京大学名誉教授、青山学院大学教授

専門分野：地理情報科学

受賞理由：地理情報科学、特に統計的地理空間分析研究およびその社会実装に顕著な貢献をした功績により

07



近藤 豊

東京大学教授

専門分野：大気化学、地球大気環境科学

受賞理由：大気化学・地球大気環境科学、特に成層圏オゾンの破壊、対流圏オゾンの生成、ブラックカーボンの気候への影響研究における顕著な功績により

16



小嶋 稔

東京大学名誉教授

専門分野：地球化学

受賞理由：惑星形成・進化学、特に希ガス宇宙地球化学の分野における顕著な功績により

08



櫻井 隆

自然科学研究機構国立天文台教授

専門分野：磁気流体力学、太陽物理学

受賞理由：太陽物理学、特に磁気回転星の星風基礎理論に関して顕著な貢献をした功績により

17

**杉村 新**

元神戸大学教授

18
 専門分野：ネオテクトニクス、島弧変動学
 受賞理由：地質学，特に日本列島のネオテクトニクス、島弧論などの分野における顕著な功績により

**野上 道男**

東京都立大学名誉教授

27
 専門分野：自然地理学、地形学、気候学
 受賞理由：地形学，特に地球表層環境の解明に向けた気候地形学分野において顕著な貢献をした功績により

**高木 章雄**

東北大学名誉教授、地震予知総合研究振興会会長

19
 専門分野：地震学
 受賞理由：地震学，特に観測地震学分野における永年にわたる顕著な貢献をした功績により

**長谷川 昭**

東北大学名誉教授、東北大学客員教授

28
 専門分野：地震学
 受賞理由：地震学，特に東北日本弧下の沈み込み帯の構造・地震活動・ダイナミクス分野における顕著な功績により

**谷 誠**

京都大学教授

20
 専門分野：森林水文学、山地流域の水循環解明、降雨流出応答予測
 受賞理由：水文学，特に森林水文学分野における降雨流出過程研究において顕著な貢献をした功績により

**花輪 公雄**

東北大学理事

29
 専門分野：海洋物理学
 受賞理由：海洋科学，特に大気海洋相互作用の実態解明における顕著な功績，および日本地球惑星科学連合発展への多大な貢献をした功績により

**田村 俊和**

東北大学名誉教授、元立正大学教授

21
 専門分野：地形学、第四紀環境変遷、陸域環境管理
 受賞理由：第四紀環境学，特に都市近郊の丘陵地域での災害発生メカニズム解明に顕著な貢献をした功績により

**廣田 勇**

京都大学名誉教授

30
 専門分野：気象学，特に中層大気力学
 受賞理由：大気力学，特に中層大気力学分野における顕著な功績，および日本地球惑星科学連合の設立に当たり顕著な貢献をした功績により

**鎮西 清高**

京都大学名誉教授、大阪学院大学名誉教授

22
 専門分野：古生物学、古生態学
 受賞理由：地質学，特に古生物学および古生態学分野における永年にわたる顕著な功績により

**深尾 良夫**

東京大学名誉教授、海洋研究開発機構特任上席研究員

31
 専門分野：地震学、地球内部物理学
 受賞理由：地震学，特に震源過程・地震波トモグラフィー・地球自由振動論分野における顕著な功績により

**中澤 高清**

東北大学名誉教授、東北大学客員教授

23
 専門分野：気象学、物質循環学
 受賞理由：地球温暖化研究分野において、温室効果気体のグローバルな時空間分布とその循環の解明に顕著な貢献をした功績により

**藤井 敏嗣**

東京大学名誉教授、環境防災総合政策研究機構 環境・防災研究所長

32
 専門分野：マグマ学、火山学
 受賞理由：地質学，特に火山学・マグマ学分野における顕著な功績，および火山防災学の発展に多大な貢献をした功績により

**中沢 弘基**

元東北大学教授、物質材料研究機構名誉フェロー

24
 専門分野：鉱物学、地球物質科学、生命起源科学
 受賞理由：硫化鉄超構造相・超微粒子の創出と構造解析、粘土鉱物の合成、X線顕微鏡の発明、生命起源「有機分子ビッグワン説」など顕著な功績により

**本蔵 義守**

東京工業大学名誉教授

33
 専門分野：地球電磁気学
 受賞理由：地球電磁気学，特に地球内部・地震関連電磁気現象分野における顕著な功績，および日本地球惑星科学連合黎明期において多大な貢献をした功績により

**中田 高**

広島大学名誉教授、元広島工業大学教授

25
 専門分野：変動地形学，特に活断層研究
 受賞理由：変動地形学，特に活断層研究および断層と地震の関係の研究において顕著な貢献をした功績により

**松井 孝典**

東京大学名誉教授、千葉工業大学惑星探査研究センター所長

34
 専門分野：比較惑星学、アストロバイオロジー
 受賞理由：惑星科学，特に地球の大気・海洋の形成と進化についての顕著な貢献，および長年にわたり地球惑星科学の普及に貢献した功績により

**西田 篤弘**

宇宙科学研究所名誉教授

26
 専門分野：宇宙空間物理学、磁気圏物理学
 受賞理由：宇宙空間物理学，特に地球磁気圏の構造とダイナミクスについて顕著な貢献をした功績により

**松田 時彦**

東京大学名誉教授

35
 専門分野：活断層研究
 受賞理由：地質学，特に構造地質学、地震地質学、活断層研究分野における顕著な功績により



松本 紘

京都大学名誉教授, 京都大学総長

専門分野: 宇宙プラズマ物理学

受賞理由: 宇宙プラズマ物理学, 特に非線形現象研究において顕著な貢献をした功績により

36



山形 俊男

東京大学名誉教授, 海洋研究開発機構アプリケーションラボ所長

専門分野: 気候力学, 海洋物理学, 地球流体力学

受賞理由: 地球流体力学・気候力学, 特に大気と海洋に生じる諸現象, 相互作用に伴う気候変動現象の解明に顕著な貢献をした功績により

40



丸山 茂徳

東京工業大学教授

専門分野: 地球史, 地質学

受賞理由: 地質学, 特に全地球史解読, 生命・地球の共進化分野における顕著な功績により

37



行武 毅

東京大学名誉教授

専門分野: 地球電磁気学

受賞理由: 地球電磁気学, 特に地磁気永年変化・地磁気原因論, 地球内部電気伝導度, 地震・火山関連電磁気現象分野における顕著な功績により

41



三上 岳彦

首都大学東京名誉教授, 帝京大学教授

専門分野: 気候学, 気候変動

受賞理由: 気候学, 特にグローバルスケールでの気候変動研究, 都市環境としてのヒートアイランド現象, 古気候復元研究において顕著な貢献をした功績により

38



和田 英太郎

京都大学名誉教授, 総合地球環境研究所名誉教授, 海洋研究開発機構フェロー等

専門分野: 生物地球化学, 同位体生態学

受賞理由: 地球表層における物質循環系の解明, および同位体生態学分野を構築した顕著な功績により

42



水谷 仁

宇宙航空研究開発機構名誉教授, (株)ニュートンプレス「ニュートン」編集長

専門分野: 実験惑星学, 惑星探査

受賞理由: 惑星科学, 特に惑星集積過程を明らかにする実験惑星学において顕著な貢献をした功績により

39



阿部 豊

東京大学准教授

専門分野 惑星物理学

地球物理学との出会いと、再出発

このたびは、第一回のJpGUフェローをいただき、ありがとうございました。若輩ながら、恩師、諸先輩方と、同時にいただいたことは、大変な栄誉と感じております。病気のため、できることが限られてきておりますが、今後とも、地球惑星科学の発展のために、精一杯できることをしていきたいと考えております。今後ともよろしくお願いたします。

何か書くように、とのことですので、地球物理学に進むことになったきっかけの出来事を記して、あわせて、今後の自分自身の研究の方向について、再確認する場にさせていただきますが、と思っています。

たぶん、小さい頃から、火山や星や古生物など、いわゆる「地学」の分野に興味を持つ子供であったことは確かですが、「地球物理学」という学問分野の存在を知ったのは、中学2年生のとき、それもかなりの偶然の出来事でした。1973年のことです。私が通学していた東京千代田区には「科学教育センター」とかいう名前の取り組みがあって、各学校の2年生を1クラス1人ずつ、理科好きの生徒を集めて特別授業をしていました。たまたま学級委員のようなことをしていた私が希望者を募ることになりました。ところが私のクラスには、希望者がいません。「希望者いません」と報告したところ、「じゃあ、お前が行け」と先生に指名されるまま、私がいよいよ行かされることになったのでした。

行ってみると、第一回の講師が、上田誠也先生でした。はじめて聴くプレートテクトニクスのお話でした。何の予備知識もなければ、特に感動もしなかったのかもしれませんが、しかし私は自分なりに、火山や地震の分布の知識を持っていて、熱かった地球が冷えたときに表面が縮み、リンゴの皮がしなびてシワができるようにして山ができた、というような説明を知っていました。古い説明を知っていただけに、初めて耳にするプレートテクトニクス理論は、驚くほど新鮮でした。日本に火山や地震が多いわけが、この説明ですべて納得できたと思ったからです。

しかし、この講義で覚えているのは、最初の富士山の写真だけです。不思議なことに、これだけは妙に鮮明に覚えています。

もう一つ記憶に残っているのは、最後に先生がおっしゃった、「おもしろいと思ったら、ぜひ地球物理学を勉強してください」という言葉でした。

結果的に、その言葉通り地球物理学に進むことになったのですが、しかしそのときは違いました。どちらかという天文少年であった私が真っ先に感じた疑問は、「ほかの惑星でも同じことが起こるのだろうか」ということでした。「月の陸と海や、山脈も同じ理論で説明できるのだろうか」ということです。ただ、このときはおそれ多くて質問できませんでした。

このことが、その後に影響したようです。結局、この疑問がくすぶって、地球物理へ、現在の研究課題へと導かれたように思います。あのとき質問して、何らかの答えをいただいていたなら、それほど心にとどまらなかったかもしれません。

当時はまだ金星の表面の地形などは不明だったはずで、ヴァイキングの火星探査も、マリナー10の水星探査もまだ行われていませんでした。質問していたとしたら、どのような回答をされたのだろうか、と考えることがあります。

これが、私の地球物理学との出会いでした。物理学とは何をする学問であるか、も知らない段階で、「地球物理学」という分野の存在を知ったことになりました。それから、きっと必要なだろうと「仕方なしに」さほど得意でもなかった数学や物理学を勉強することになりました。

いま、思い返してみると、結局、私の場合、最初から比較惑星学的な疑問で動かされていたようです。現在も主な研究課題は、地球型惑星の多様性と、その起源です。

1973年当時と比べて、太陽系の惑星に関する情報は格段に増えています。現在の太陽系でプレートテクトニクスが働いている惑星は地球だけです。一方で、プレートテクトニクスは、地震や火山や造山運動だけではなく、地球の表層環境にも大きな影響を与えていると考えられています。

近年では太陽系外惑星の発見が相次いでいて、生物が生きられる惑星、ハビタブルゾーンの探索も現実味を帯びてきています。その場合にもプレートテクトニクスの有無は重要な環境条件の一つと考えられて

います。

しかし、プレートテクトニクスの発生条件は、数十年にわたる研究にも関わらず、未だに確定的ではありません。重要な理論的・実験的・観測的進展があったにも関わらず、確定できない大きな理由は、おそらく地球以外の例が見いだされていないためでしょう。太陽系内に例がないことがはっきりしてきた以上、探索を太陽系外に広げて行くしかありません。幸い、地球型惑星は普遍的存在であることがわかってきています。

惑星探査の進展が、地球物理学的手法を惑星に適用することを可能にし、惑星の科学をおおいに進展させました。その時期は、プレートテクトニクスによる地球理解の進展の時期に少し遅れて重なっていました。

いま、太陽系外惑星という新たな研究の場が広がりつつあります。しかし、この場では、従来の惑星科学の進展をになってきた、直接探査という手法はつかえそうもありません。天文学的手法による観測に頼らざるをえません。全球平均量以外の観測量、惑星内部の観測量が得にくい世界です。一方、過去数十年の地球や惑星の理解が示すことは、全球平均からのずれ、不均質性の重要性、内部の活動の重要性であるように思われます。

どのような観測量に基づいているかは、その学問分野の体系に大きな影響を及ぼします。今は、新しい研究対象の広がりに対して、過去数十年間の蓄積を整理して、再出発する転換点にあるように思います。私も一度原点に戻って再出発したいと思えます。難しい問題で、解決は困難ですが、できることを少しずつ進めて行きたいと思えます。



池田 元美

北海道大学名誉教授

専門分野 海洋学, 特に中規模力学, 海洋データ同化, 北極気候変化

いろいろな研究ができたことに感謝

◆はじめに

今回のフェロー推挙に伴い意思表示の機会をいただいたので、日本の研究者としてはいろいろな分野を渡り歩いた方に属すると自覚していることもあり、これまでの研究などについて書く事にしました。私の経験が若手研究者の取り組み方に何らかのヒントを与えることがあれば嬉しいと思います。

数値流体力学に取り組む端緒である吹き出し流の不安定現象から、海洋中規模現象に集中するようになり、さらにデータ同化に手を染めました。一方で、海水のモデルを本務とした時もあり、その後に北極域の気候変動ではデータ解析の経験も積みました。また地球温暖化の鍵となる物質循環を若手研究者と共に学び、社会モデルにも首を突っ込みました。東日本大震災に伴う海洋汚染に関しては、科学に携わる者として責任の一端を果たしたつもりです。

◆数値流体力学を海洋物理に使う

大学では日本の宇宙開発を担う意気込みで航空学科に入りましたが、流体力学に興味を持つようになりました。博士論文では「2次元吹き出し流の不安定」について、当時はあまり多くなかった数値流体力学を選びました¹⁾。就職先がなく5年くらい過ぎたころ、もっと具体的な社会への関わりを探し、気象か海洋の研究をやってみようと思いました。海洋物理の現象で盛んに取り上げられていたのは、黒潮の定常大蛇行でした。2次元吹き出し流と共通点があり、挑戦することになりました。

1979年から米国NRCのポストドクターとして、NOAA/PMELでは黒潮よりもメキシコ湾流の研究に専念しました²⁾。博士論文研究と比べると、数値モデルとしてはほとんど差がないのですが、力学の視点からは傾圧不安定が面白くて熱中しました。次はカナダのプリティッシュ・コロンビア大学で、バンクーバー沖のカリフォルニア海流に発達する中規模蛇行と渦を予測する試みに挑戦しました³⁾。

◆データ同化に手を染める

次に仕事をしたカナダのベッドフォード海洋研究所では、海水研究を本務としていましたが、海洋中規模現象にデータ同化を

利用することに手を染めました。データ同化では、数ヶ月程度のデータをうまく表わせるように、数値モデルの初期条件と境界条件を選びます。蛇行の発達が下層の流速に大きく影響されることは分かっており、蛇行を再現するためには下層場に特定の初期条件が必要です。この初期条件を変分法によって求めた結果を示しました⁴⁾。

1994年に帰国後は、日本にも海洋データ同化を根付かせよう考える方たちと共に、海洋科学振興財団を通じた支援も得ながら、「夏の学校」を開いてきました。

◆海水と極域の研究に移る

1983年から10年間勤務したベッドフォード海洋研究所での任務は、カナダ東岸沖の海水予測でした。流体力学におさまらず、より広領域の課題に目を向ける機会を与えられたと考えました。海水面は海水面より風の抵抗が大きく、また結氷と融解に伴って海水の塩分が変化するため、いろいろ面白い現象が見られます⁵⁾。

北極海の海水変化を決める要素は何かと考えるようになりました。1994年に着任した北海道大学では北極気候変動に最も力を注ぎました。アラスカ大学の研究者と共同研究を進め⁶⁾、また、2014年まで北極環境研究の長期構想をまとめるグループにも加わって来ました。

◆炭素循環、そして社会との相互作用

北大では新しい分野の研究を始める際に、学生の興味に誘われたことが多々ありました。北太平洋表層の炭酸塩分布を再現する数値実験もそのひとつです。海面近くの二酸化炭素濃度データを同化して、混合層以深の炭酸塩濃度を求めれば、海面における大気海洋間の二酸化炭素交換を正確に求めることができるはず⁷⁾。

もうひとつの展開は、これからの地球温暖化進行を抑えるのに、人間社会の努力がどの程度必要かを見るため、簡略化した全球炭素循環モデルに、社会モデルを組み込むことでした。人間の対応が気温上昇に比例していると仮定すると、現段階でどのくらい二酸化炭素排出の速度を落とす努力が必要かという問いがわかりやす⁸⁾。

◆インド洋とネパールの研究

6人の留学生を指導できたことは、北米在住中の恩返しにもなりました。山岳地域の気候を研究したい者がおり、海洋の研究ではインド洋を対象とする者がいました。それまでは研究したことのなかった熱帯域に興味を拡げることができました。全世界の海洋をめぐるコンベヤベルトと呼ばれる海流が、インドネシア諸島の間を通り抜ける経路を調べた研究もそのひとつです⁹⁾。

◆東日本大震災に出会う

北大を退職後1年近く経った時、大震災が起きました。福島原発からの放射能汚染について、海洋学会の一員として情報開示の重要性を説いてきたつもりです。放射性元素に関しては完全な素人が、出過ぎたまねをしたのかもしれませんが、黙っていられたからですが、海洋学会の民主的なところがわかりました。

興味があることを研究して、生きてこられたことには感謝します。またそれが社会に少しでも役立つのなら、この上ない幸せです。どうもありがとうございました。

■引用文献

- 1) Ikeda, M., *J. Fluid Mech.*, 80, 401-421, 1977.
- 2) Ikeda, M., and J.R. Apel, *J. Phys. Oceanogr.*, 11, 1638-1661, 1981.
- 3) Ikeda, M., L.A. Mysak and W.J. Emery, *J. Phys. Oceanogr.*, 14, 3-21, 1984.
- 4) Cong, L.Z., M. Ikeda and R.M. Hendry, *J. Geophys. Res.*, 103, 7719-7734, 1998.
- 5) Ikeda, M., *J. Phys. Oceanogr.*, 17, 1468-1483, 1987.
- 6) Ikeda, M., J. Wang and A. Makshtas, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 81, 179-189, 2003.
- 7) Ikeda, M., and Y. Sasai, *Marine Chemistry*, 72, 343-358, 2000.
- 8) Ikeda, M., *J. Oceanogr.*, 67, 113-126, doi:10.1007/s10872-011-0011-x, 2011.
- 9) Valsala, K.V., and M. Ikeda, *J. Clim.*, 20, 2994-3017, doi:10.1175/JCLI4167.1, 2007.



入倉 孝次郎

京都大学名誉教授, 愛知工業大学客員教授

専門分野 地震工学, 特に強震動地震学, 応用地震学

社会のための地球惑星科学をめざして

2014年度の日本地球惑星科学連合フェロとして顕彰していただいたこと、心より感謝する。私の受賞理由が「地震学、特に強震動地震学・応用地震学における顕著な功績、および国内外の人材育成に多大な貢献により」となっていることはうれしく思う。私が地球物理学の研究を始めてから、ほぼ50年が経つ。この受賞を機に、自身の研究の歩みを振り返ってみたい。

私は、京都大学の学部時代には、物理学、特に物性物理を学んでいたが、もっと社会に密着した仕事をしたいと思い、心機一転、大学院からは地球物理学に進むことにした。私が修士課程で配属されたのは、防災研究所の地震動研究室である。その研究室の気風はまったくの自由放任主義で、研究テーマも自分で勉強して決めるもの、とされていた。それに加えて、私は、大学院入学時の身体検査で、結核にかかっていることわかり、1年間休学したこともあり、実質的にも勉強は1人でせざるを得なかった。

私は、修士課程ではじめて地震や地震動の勉強を始めたので、何をしたらいいかわからず、ひたすら地震波動論や地震のメカニズムの教科書を読む毎日だった。勉強して驚いたことは、地震という現象がまだ何もかわかっていない、ことだった。大きな地震が起こると断層が地表に現れるので、「地震は断層現象だ」という人もいれば、「地震は地下深部に起こるのだから、地表に断層ができるのは結果に過ぎない」という人もいて、議論が混沌としていた。工学系で耐震の研究をしている先生からは、理学の先生は、地震は断層だとか断層でないとか議論しているが、工学にとっては、そんなことはどっちでもよく、地震のときにどんな揺れがくるか、だけが重要だ、といわれた。

私が休学をしていた1964年に、新潟地震(M7.5)が起こり、地震学関連の研究者はこぞって観測や調査に駆けつけた。1948年福井地震(M7.1)の後、被害を伴う地震はまったく起こっていなかったのが、地震学や耐震工学の研究者にとっては重要な地震であった。日本における強震加速度計を用いた観測は1953年にはじまったが、この地震のとき、被害地震の震源近傍域

ではじめて強震動が振り切れずに記録された。とくに、新潟市を中心として大規模な液状化が発生したこと、液状化した地盤上にある鉄筋の建物の地下と屋上で振り切れずに加速度強震記録がとれたのは世界でもはじめてで、日本が液状化の科学的解明に関して世界先駆けた研究を行うこととなった。

もう1つこの地震で特筆すべきことは、1962年に設置された世界標準地震観測網(WWSNN)で長周期の地震波形が記録されたことだ。世界標準地震観測網で得られたラブ波記録を用いて、安芸敬一は、地震の規模の尺度として物理量である「地震モーメント」を計算した。この「地震モーメント」から推定される断層変位量が、震源近傍域で確認された地殻変動の量と一致することで、それまで仮説とされていた「地震が断層運動である」ことが定量的に立証された。

この安芸の成果は、その後のプレートテクトニクスの発展における地震学の貢献につながり、またその後の私の地震災害の研究に大きな影響を与えた。

安芸により地震の正体が明らかにされたことで、1970年代の後半からは、米国のカルフォルニアでは、将来地震を引き起こす可能性のある活断層の周辺で、高密度強震観測網による観測がなされるようになった。実際に1979年インベリアヴァレー地震、1983年コーリンガ地震、1989年ロマプリエタ地震など、震源近傍で多くの強震記録が得られ、断層面を仮定して、断層すべり分布を推定する研究がなされるようになった。一方、そのころの日本の強震観測は限られた国の研究機関か民間のジェネコンにより少数の観測点で行われていただけで、幸運にも強震記録が得られたとしても観測した機関・研究者の私有物ということで、一般の研究者は強震記録の利用はできなかった。

私は、地震災害の軽減のためには強震動予測の研究が重要と考えていたが、実際に強震動記録を入手するには、自分で観測する以外になかった。私は、1970年代の後半になってようやく村松先生が代表者とす

るに設置して、観測を始めた。科研費(3年)の最終年度に、伊豆半島東方沖地震が起こり、震源に比較的近い御前崎や静岡に設置していた強震計で本震のみならず前震や余震をとることができた。それらの強震記録が得られたことで、前々から暖めていた小さな地震の記録から大きな地震の強震動を予測する「経験的グリーン関数法」を実際の記録を用いて検証することができた。この方法は、1995年兵庫県南部地震のときに被害に係る強震動の生成過程や建物被害を引き起こした強震動の再現に威力を発揮した。

1995年兵庫県南部地震による大災害、いわゆる「阪神・淡路大震災」の後、地震調査推進本部が設立され、日本全国をカバーする基盤的観測網が構築され、そのなかで、強震計の整備も進められた。それにより、M6.5以上の規模の地震が発生すると、直ちに強震記録を用いた震源インバージョンにより、断層破壊過程の研究が行われるようになった。私たちは、これらの研究成果を整理して、内陸の活断層地震や海溝型地震の震源パラメータのスケールリング則の研究を行い、その成果に基づき、強震動予測のための「レシピ」の提案を行った。この「強震動予測レシピ」は、政府地震調査研究推進本部の全国地震動予測地図に利用され、内閣府中央防災会議をはじめとする地震災害の軽減を目的とした地震動分布推定などの地震動予測に広く用いられている。しかしながら、「強震動予測レシピ」はいまだ発展途上のもので、今後も更なる精度向上を目指して改良が必要とされている。

2011年東日本大震災は、自然の驚異に比べて、地震学・地球惑星科学の知見はまだ限られたものであることを明らかにした。自然災害を総合的に少なくするためにはどうしたらいいかは、自然科学・工学的な取り組みだけでなく、社会科学や人文学を総動員した取り組みの必要性を感じさせるものであった。社会のための地球惑星科学を目指した研究が必要とされている。



上田 誠也

東京大学名誉教授

専門分野 固体地球物理学, プレートテクトニクス, 地震予知

老人からひとこと(老爺心?)

この度、図らずも日本地球惑星科学連合フェローとさせて頂き、まことに光栄のことと有り難く存じます。高齢で、心身共に衰えが厳しいところ、すくなくならず元気づけられました。

東大地球物理学科を卒業したのが62年前でした。当時の先生方はもとより、先輩諸賢、同輩、後輩に至るまで懐かしい多数の方々です。すでに鬼籍に入られました。まわりを見ましても、私より年嵩の方は本当に寡く、寂しいことです。程なく、私もそちらのお仲間に入りますが、この機会に回顧と展望を少々書かせて頂きます。

我々の世界でも、状況は非可逆的に変わりつつあります。一口で言えば、かつては封建的であったのが、だんだん、近代化してきた。(適語が見つからないので封建的、近代化などいいましたが、なんとか補完してその意味を理解して頂ければとおもいます。)

先生達は威張っていて、生殺与奪の権限をもち、極論すれば下っ端は研究すら自由にはできなかった。今の世代には考えられないことでしょう。それにやや急速な変化をもたらしたのは大学紛争だったように思います。教授達はあんまり威張らなく、あるいは威張れなくなりました。それまでの揺るぎなく見えた体制が実は一種の虚像だったことになったのです。大学解体を叫んだ紛争は、結局のところ、よりよい教育・研究環境を生んだわけです。もう46年ほど前のことです。

紛争後は院生・助手達も自由を謳歌し、経済事情の変化とかの要因もあるでしょうが、国際化も進み、近頃では、国際学会などで外国語も達者に活発に談論する若い人々には感心させられることが多いです。

という、まるでいいことづくめの様に聞こえますが、そうでしょうか? 先生たちは、なにかと雑用に追われて、折角の自由を活かしそこねていませんか? 成果主義はいいけれど、大学院生や研究者には、先のことを考えて、リスクのありそうな未開の天地への挑戦を避ける傾向はありませんか? “どうなるか分からないからこそ、やってみます”ではなく“先生、それですぐ学位論文かけますか?”あるいは安易にコピペ式に書いた学位論文を、雑用で暇

のない指導教官があまり指導もせず(にそれを通すなど)ということとは? また、大学や研究機関では事務手続きがやたらに煩雑化してきていませんか? 一口で言えば、“官僚主義”化です。官僚が官僚主義というのは当然、かつ必要なことでしょうが、研究者が官僚主義化(これも適語がなくて当惑しますが、非研究者化、あるいは事務官化、事業家化といった意味です)するのは避けたい。なんのために研究するのか? 「研究成果はすぐには役に立つものでもない。長い目で見なければ」などという当たり前すぎることを、主張し続けなければならない事態。これには、無計画あるいは無責任的な大学院の増大化、教職・研究職の削減など、長年にわたる政府・文科省の政策上の誤りによるところも大きいことは明らかです。それはそうとしても、私の言う封建時代の研究者達にはもっと、自由闊達な面があったような気がします。「好きなものイチゴ珈琲花美人 懐手して宇宙見物」と詠った寺田寅彦は、どこかで読んだが、関東地震(1923)が起きた時、銀座だか上野のレストランで昼食中だったとか。でも彼が直ちに震災後、大活躍をしたこと、そして地震現象の解明には物理的手法によらねばならないと、当時としては革新的な考

えで、東大地震研究所設立に貢献したことなどは周知の通り。第2次大戦後でも、封建時代には研究成果で有名な某先生などは、しばしば週日でも午後には学生を連れて浅草でshow鑑賞だったとか、今ではとも考えられませんか。

こんなことは別にお勧めすべきことではないですが、要は自由な精神だと思います。最近、縁あってファインマンの随筆を読んでいます。大貫昌子さんの名訳・江沢洋先生の名解説で何冊も岩波書店からでています。私の今、最も共感を覚える自由な精神の持ち主はリチャード・ファインマンさんのようです。ここでうまく説明するのは困難ですが、自由奔放でとても面白いですから、是非一読をお勧めします。彼は超弩級の天才ですからそこまでは容易についてはいけませんが「物理を研究するのは栄誉のためでも賞や賞金のためでもない。楽しいからなんだ」という精神が今や我々の身の回りではやや薄らいできているのではないのでしょうか。自分自身のちっぽけな生涯を顧みても、生きがいのあったのは、まわりの方々にはいろいろ迷惑をかけたに違いないが、好きで研究に打ち込んだ日々だったと思います。ここに改めて皆さんに感謝させて頂き、本稿を終わります。



写真：学生達に占拠された東大・安田講堂 機動隊突入寸前(1969年1月、筆者撮影)



尾池 和夫

京都大学名誉教授, 京都造形芸術大学学長

専門分野 地震学

海城地震の予報の成功から 40 年

今、私は 2 冊の本の翻訳作業中である。1 冊目は、1978 年に出版した、尾池和夫著『中国の地震予知』（NHK ブックス）を中国語に翻訳して出版する作業である。もう 1 冊は、王紹玉、馬春勤編著『無形の震災—唐山地震における心理的行動と心理反応の記録』（中国科学技術出版社、1993 年）を日本語に翻訳する作業である。

前者の方は順調に進み、北京で活躍中の徐紀人さんの支援で最後の点検に入り、中国語版のための私の序文を書いたところである。そこには次のようなことを書いた。この序文の内容は、そのまま私の考えてきたことを反映しているので、その主な部分を以下にそのまま引用し、近況の報告としたい。

「浅い大規模地震は震災を起こす。地震に敏感になった被災地の人々は、その大地震の直前にさまざまな地震前兆現象を経験したことを振り返って語り、それらが大地震のたびに調査され記録されてきた。また、自然現象の観測記録の中にも、多くの種類の地震前兆現象が残されてきた。」

「このような前兆現象を系統的に観測し、その発生の仕組みを研究することができれば、地震の直前予報が可能になると私は思っている。現在、このような考え方は、中国でも日本でも地震学界の中心的な課題ではなくなっている。しかし、前兆現象の観測と研究が重要であるという私の考えは変わっていない。また、大規模地震の直前予報を出す手法の確立は、中国でも日本でも国民の悲願であると信じている。

地震の前兆現象の研究は、今までのところ経験的事実の集積にとどまっていて、系統的な研究は進んでいない。また、地震発生前の直前予報の実践を公的に行うという方針は認められていない。しかしながら、仕組みがわかっていなくても経験則だけでもいいから、地震の前兆現象に関する情報がほしいという人々の要望は強い。個人的にその要望に如何にも応えているような事業を実践する人たちがあふれているが、それらは広く認知された手法によるものではない。人びとの要望に本当に応えるためには、公的な機関で前兆現象の観測と情報の整理と提供を実践することが重要で、それをやらないと偽物が現れて市民を惑わ

る。国がそのような方針をとらないのなら、大地震発生の可能性が高い地域の地方自治体や研究機関が実践すればよい。ビッグデータが公表され、それが可能な時代になっている。」

「実際に公的な仕組みで大規模地震の直前予報を成功させた実例がある。科学的な手法によって地震前兆現象を系統的に観測しながら、実際に地震予報を成功させたという世界初の貴重な実例は、1975 年中国海城地震の予報である。そのときの仕事を日本の人びとに知らせて、日本でも地震予報を実現させたいという意図で、中国の専門家の取材をもとに私が書いた本が『中国の地震予知』という一冊であり、現時点でも重要な内容を含んでいると思っている。」

参考までに、日本語版のこの本は、京都大学学術情報リポジトリ「KURENAI」に原著保存 (<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/44055>)。

2 冊目の翻訳は、1976 年の中国唐山地震の後、貴重な調査結果の記録である。その序文の内容と目次の一部を引用して紹介としたい。まずは序文である。

「1976 年 7 月 28 日の唐山大地震は、全世界を震撼させたが、現在すでに、それは薄れつつある。しかし、この世のものとは思えないほど悲惨である大震災は、今に至ってなお、人びとの心に大きな傷を与え、この震災による人びとの心の異常な変化は、多くの人びとにとって、いまでも未知の謎だらけでもある。『無形の震災—唐山地震における心理的行動と心理反応の記録』は、大量の真実と生の素材に基づいて、唐山大地震における人びとの心理行動の異常反応をくわしく記述したものである。「無形の震災」の謎を解明することによって、唐山大地震が人びとの心に与えた傷が、読者に恐怖を与えると同時に、また深い感銘をも与えるページを造り上げたのである。」

「・・・中略・・・あまり知られていない震災後の人びとの心理の世界の状況、全面的に唐山大地震が人びとに与えた物質的および精神的災害などであり、この本は、これらを理解することができる、たいへん価値のある読み物を提供することになったのである。」

そして、目次であるが、第一編、大規模

破壊前の動物と人の異常行動反応の部分は、いわゆる宏観異常現象の記録であり、たいへんくわしく残された貴重な聞き取り調査の記録で、興味深い。例えば、「地上の動物の恐怖の行動反応」として、ラバの大逃走、動物の絶食、犬は吠え猫は恐ろしく叫ぶ、兎や羊が狂う、また「水生動物の恐怖の行動反応」として、金魚が夜中に踊る、スッポンの悲鳴、青蛙の沈黙の集会、「鳥と飛ぶ昆虫の奇妙な行動反応」として、オウムに恐ろしい夜の声、飛ぶ昆虫の集会、蝙蝠が昼の空を飛ぶ、鳩が恐れおののく、さらに「穴居動物の避難行動反応」「人類の神秘的心理行動反応」と続く。最後の項目では、地震前に突然慌てて錯乱する、地震前の抑えられない情緒不安定、心身ともに言葉にできないほどの恐怖、地震前の身寄りの心細さというような、人の感情も記録されている。

第 2 編は、すっかり破壊される瞬間の人びとの心理行動反応、第 3 編は、震災初期の人びとの心理行動反応で、第 4 編は、震災後期の人びとの心理行動の変化の観察である。

これら 2 冊の翻訳が、フェローとしての学界への貢献になればうれしいと思っている。(2014 年 9 月 30 日)



岡田 尚武

北海道大学名誉教授

専門分野 層序学, 古海洋学

退職後に始めたこと

勤め先の大学を完全退職して3年あまり経った。現役時代の研究を継続するのは不可能だが、まだ新しいことを知りたいという好奇心は旺盛だ。そこで、私はこれまでの研究活動の経験も生かして、魅力的な陸上植物について形態や分類などを学習し、自生地に向いて観察した結果をデジタル本にまとめて、一般公開もしている。この原稿は何に関してでも良いとのことなので、心身の健康維持を目的に私が実行していることを述べたい。

私は子供の頃から生物を中心とした自然観察が好きだった。大学では地質学科に進んだが、古生物学関連分野を専門したのも自然の成り行きだったのだろう。研究の専門は、石灰質ナノプランクトンと呼ばれる植物性プランクトンとその化石であった。この海生の原生生物はとても小さく、その観察には倍率1,000倍程度の光学顕微鏡か電子顕微鏡を必要とする。光学顕微鏡といっても位相差顕微鏡と偏光顕微鏡を使うので、対象物の形は分かるが本来の色を見られるわけではないし、電子顕微鏡ならモノクロ画面での観察となる。石灰質ナノプランクトンやナノ化石の新種を発見したり、古環境復元や年代決定に有効な手段を解明したりするのは面白かったが、色がきれいで肉眼観察できるものを扱いたいという欲求も感じていた。

そこで、退職後は美しいワイルドフラワーの観察・撮影という趣味に邁進することにした。まずはどこにどんな植物があるのかを系統的に学び、分類学的なデータも調べ始めたが、このプロセスは私が体験した研究活動の一部と変わらない。生物の分類学は現在では遺伝子レベルでの情報が中心となっており、これはプランクトンの世界でも高等植物でも同じである。石灰質ナノプランクトンでは、形態上の類似性が全くなくて別科や別属と思われたものが、飼育観察や遺伝子情報に基づいて、1) 近縁であったり、2) 同一種における生活史の異なる段階の表現形であったり、などということが判明した例がいくつもある。高等植物においても、遺伝子研究の結果従来とは異なる科に再分類される例が多くあり、これまでの形態を中心とした分類体系に慣れ親しんだ経験者ほど混乱したようだが、

遺伝子研究の結果に基づく新たな分類体系が、学名と和名を対比する形でいくつか刊行され、落ち着きを取り戻したように思える。私のような専門家でないものが高等植物を勉強するには、都合のよい状況になったのは喜ばしい。

石灰質ナノプランクトンの現生種は地球上に200種ほどあるが、美しい花を咲かせる植物は、亜種や変種のレベルまで数えると日本国内だけでその何倍もある。もちろん、どの花を美しいと思うかは人それぞれの主観的判断であり、その違いを比べるのも趣味としてのワイルドフラワー愛好家の楽しみである。おおよそに言って、国内にある美しいワイルドフラワーは1,000種類ほど、というのが現在の私の認識だ。狭い日本列島だけでこの数なのだから、地球全体ではどれくらいになるのだろう。2億年前までさかのぼる石灰質ナノ化石は何千という種が記載されており、年代判定に重要な種を覚えるだけでも大変だが、地球上の魅力的なワイルドフラワーの種類は莫大で、その全てを観察するのは私には不可能である。このように、終わりの見えない奥深さというのも、趣味の対象としては重要なポイントであろう。

とにかく日本には多くの固有種を含む美しいワイルドフラワーが多数ある。これだけ沢山あると、ターゲットを決めて自生地を訪れ、自分の観察、学習した結果を整理しておかないと混乱してしまう。そこで、日本国内にある美しいワイルドフラワーから特に魅力的な500種類を選別し、自分で撮った写真にアマチュアならではの主観的な説明をつけて纏めることを考えた。どうせ自分のためのデジタルファイルを作るので、それを一般に公開しても大した手間ではない。インターネットの発達した現在では、世界中の同好者がダウンロード出来るようにするのも簡単だ。ということで、まずは北海道の魅力的なワイルドフラワーを纏めたデジタル本を、「北の息吹 Ver. 1 - 北海道の魅力的な山野草 250選」として昨年4月に公開した。公開したら直ぐに検索サイトで拾い上げられ、「北の息吹」と検索するだけでダウンロードページが見つかるようになって、自分の活動を説明するのが簡単になった。

海外の植物を知るため海外の図鑑を何冊も購入したが、自国語の説明しかないのが殆どで、英語圏の本以外では不満が高まる。しかし、振り返ってみれば日本でも事情は同じで、一般向けの植物図鑑で英訳のついたものは殆どない。そこで、「北の息吹」には英語の対訳も付けてある。何人かの外国人からこのデジタル本の公開に対する謝意のメールが届いており、こちらの意図したことはある程度有意義だったのだろう。現在は「北の息吹 Ver. 2 - 日本の魅力的なワイルドフラワー 500選 (仮題)」を今春に公開すべく準備をしている。「北の息吹」は写真集でもあるので、Ver. 2公開後もよりよい写真を撮る努力を続け、バージョンアップしてゆくつもりでいる。また、公開するかどうかは別として、番外編と海外編についてもまとめる予定であり、このプロジェクトに終わりは見えない。

ワイルドフラワーの世界は一般人でも興味を持つ人が多く、玉石混濁ながらネットの世界で得られる情報は多い。おぼろげな情報を元に未知の野山を歩き、目的とする花を見つけた時の喜びは大きく、研究上の新発見にも似た興奮を覚える。また、陸上植物の形態、生態、分布には生育地の地質や古環境の影響が大きく、自分が習得した専門知識を活用していろいろ考えるのも楽しい。野外で写真を撮っていると話しかけられることも多いし、こちらからアプローチして生育地の情報を教えて貰うケースも多々ある。具体的な情報探しのネットサーフィン面白く、研究者ではない同好の士との交流も楽しい。特定の花を観察するという、目的を持った旅行を楽しんでいる今日この頃である。



岡部 篤行

東京大学名誉教授, 青山学院大学教授

専門分野 地理情報科学

ユビキタス時空間情報社会と 時空間分析の課題

人類がこの世に出現して以来、時空間情報は生活に不可欠な情報であったと思われる。実際、石器時代、何時ごろ何処にインシシが出没するか、何時ごろ何処で粟の実がなるかなどの時空間情報は、明日の命をつなぐために不可欠であったに違いない。その当時から、人類が時空間情報を活用する術を身に着けていたのは確実であろう。その術の歴史的発展を振り返り、それを踏まえて将来の研究課題を考えてみることにしよう。

まず時間情報活用の術の発展から見てみよう。時間情報を活用するには、①社会共通の時間軸（参照系）、②時間軸上の時点を知る技術、③時間情報を管理する技術、が必要となる。

①の社会共通の時間軸を生み出す素地として、日の出日の入りといった一日のサイクル、四季、雨季乾季といった一年のサイクルがあった。それを社会的に制度化したものが太陽暦であり、BC45年にはユリウス暦が、16世紀にはグレゴリウス暦が考え出され、20世紀には世界共通の時間参照系を確立している。

②の時点を知る技術は、日時計、水時計、砂時計、燃焼時計、重錘機械時計と発展して来たが、17世紀にひげぜんまいの発明で懐中時計ができ、時刻を持ち歩くことができる「時刻モバイル」時代の曙となった。しかし、それが市民に普及するには更に300年を要し、20世紀初頭のことであった。

③の時間情報を管理する手法は、時間軸が1次元であることから容易であり、スケジュール手帳として古くから利用されて来ている。

これらの技術発展の結果、20世紀には、誰でもが何時でも何処でも容易に時間情報を得ることのできる社会、いわば「ユビキタス時間情報社会」が実現し、時間という有限な資源を有効に使うことが可能となったのである。それは労働力の時間管理を必要とする近代工業社会の飛躍的な発展を生み出した基盤的要因と言えよう。

次に空間情報活用の術の発展を見てみよう。その活用には、時間情報の活用と同じように、①社会共通の空間参照系、②空間参照系上の地点を知る技術、③空間情報

を管理する技術、が必要となる。

①の空間参照系は、BC126年に、緯度経度という概念がヒツバルカスによって提案された。しかし、21世紀に至っても日常生活において緯度経度が使われることは極めて少なく、日頃、位置を示すには住所、郵便番号、地名といった参照系を使っており、その決め方は国によって大きく異なる。先に見たように、時間参照系は20世紀に世界共通の参照系を確立したが、一方、空間参照系は、日常生活で全世界の人々が共通に使える社会的な参照系を未だに確立していない。

②の地点たる緯度・経度を知る技術は、経度と緯度で別々に発展して来ている。緯度は、太陽の南中時における角度から推定する方法が紀元前にエラトステネスにより考案されたが、経度の方は長い間、実用的方法が見つからなかった。そのためヨーロッパ諸国のアジア貿易船舶が難破で大きな財産を失う海難事故が多発したのである。これを打開するため、英国議会は1714年に経度測定法を発明した者に国王の身代金に相当する額を出すことを決定している。その賞金を得たのは一介の時計職人ハリソンで、時計で経度を測る方法（基準点の太陽南中時に時計を12時に合わせ、測定したい場所で南中時に何時間のずれがあるかで経度を測定する方法）を提案し、そのための正確な時計を製作した。イギリス海軍はこの時計を船舶に装備させたが、それは七つの海を制覇する大きな推進力となった。その後、緯度経度を知る画期的技術は久しく出なかったが、20世紀後半にGPSが発明され、現在ではそれがスマートフォンに装備され、位置情報を容易に得られるようになった。しかし、建物内や地下の位置取得の社会的基盤は完成しておらず、未だに誰でもが何時でも何処でも地点を容易に知る技術を得てはいない。

③の空間情報を管理する最初の革新的技術は、地図の発明で約3,500年前に遡る。以来、これを越える技術はなかなか現れなかったが、20世紀後半、計算幾何学の発達で地理情報システム（GIS）が発明され、複雑な空間情報処理と管理が可能となった。しかし、時間を管理する手帳のように、空間情報を容易に管理できるものを手

にしていない。

こう見てくると、現時点では、誰でもが何時でも何処でも容易に空間情報入手できる社会、「ユビキタス空間情報社会」は実現されていないと言えよう。しかしこれは失望することではない。むしろ空間情報技術の開発で時間情報革命につぐ第2の飛躍的な社会発展が見え隠れしてきた期待にふくらむ状況といえよう。実際、著名な雑誌NATUREは、米国政府が21世紀の雇用を生み出す3大技術として空間情報技術を紹介している。

ユビキタス時空間社会を実現するには、さまざまな研究が必要となる。何時でも何処でも必要な時空間情報を容易に入手できるようにするには、まずリアルタイムの時空間データが必要である。自然科学的データは比較的早い時点からリアルタイムデータが入手できたが、リアルタイムで社会的データが入手できるようになって来たのは、ごく最近のことである。例えば、携帯電話の利用者データから推測した人口データが、1時間毎、24時間、365日に渡ってほぼリアルタイムで入手できるようになったのは、この数年前のことである。

リアルタイム時空間データが入手できるようになると、次なる課題は、そのデータを利用して、例えば、大震災が起きた時に、どの地区にどの程度の帰宅困難者を避難させればよいか、といったような時空間情報分析を「瞬時」に分析を行う方法の開発である。私はそれを「リアルタイム時空間情報分析」と呼んでいる。時間について言えば、リアルタイム時空間情報分析は金融工学で実現したが、リアルタイム時空間情報分析は未開拓の分野である。時間は1次元で扱えるが、時空間となると、1次元+3次元で扱うので格段に難しくなる。私が第1著者で著した空間分析の本、*Spatial Tessellations*は、現時点で人文社会科学から自然科学、工学といった様々な分野の四千以上の論文で広く引用されていることを考えると、時空間情報分析は、それを越える広い分野での活用が広がるであろう。皆様方の挑戦を大いに期待している。



小嶋 稔

東京大学名誉教授

専門分野 地球化学

久野久先生の思い出

久野久先生は、私が60年程前東大理学部地球物理大学院に入学し始めて御会いして以来今日に至るまで、国内外を問わず私の最も尊敬する研究者である。また私の研究者としての生き方にも深い影響を受けて来た。この機会にぜひ多くの皆さんに知って戴きたい。

久野先生は1969年3月には定年を迎える予定で、また体調も優れなかったが(1969年8月に胃がんで逝去)、1968年秋からの始まった全学ストライキという大学存亡の瀬戸際であり、理学部教授会はとりわけ学生の信望の高い久野先生に無理を承知で評議員を引き受けて下さるようお願いする事になった。その折の教授会での発言、“学問の自由の為なら、たとひ際にもされても”と、理学部教授会の要請を承知された。際という日頃の先生からは想像し難い言葉は、連日学内での乱闘で、数百人規模の過激派学生がヘルメットに手ぬぐいと言うグバスタイルで長い竹竿を槍の様に構え、対立する学生、それに巻き込まれる教官団に、見境も無く突進して来る光景に強く心を痛められた所為であったろう。研究者としては無論、教育者としても久野先生は類まれな方だったと思う。

久野先生は東京の中心、神田に生まれた。日本画家の父親、茶の湯の師匠の母親を両親として。久野先生は昭和8年東京帝国大学地質学科を卒業し、すぐ同教室の助手として火山学の研究を生涯の仕事に選んだ。伊豆・箱根火山岩さらにその他の火山岩の研究から、火山岩はビジョン輝石質岩系としそ輝石質岩系に普遍的に分類整理されると言う、火山岩成因論の大きなブレークスルーとなった研究結果を発表された。太平洋戦争開戦直前のことである。然し急速に破滅に向いつつあった戦争は、先生にこの画期的な研究を論文にする暇を与えてくれなかった。未完の論文を携え先生は2等兵(最下級)として満州に送られた。33歳の帝国大学助教授(理系)が赤紙の召集令状で招集されるのは当時でも異例事だった。4年にわたる軍隊生活の間この研究論文の完成に心を砕いたと言う。

久野先生は己を語る事の少ない人であったが、さいわいにも「石の上にも10年」と言う半自伝的な回想記が残っている。

その1節を引用しよう。「終戦後、1年間新京で内地帰還の時を待っていた。あるとき、私は中国の刑事から強盗の嫌疑を受けて警察の牢屋にぶちこまれ、3日間をそこで過ごさねばならなかった。もう少しで拷問にかけられるところだったが、これはうまく逃れた。この間にも板の間に座ったままで、ビジョン輝石質岩系としそ輝石質岩系との成因関係を考え直してみた。このようにして満中にも機会さえあればこの問題を考え直してみたが、自問自答に終って、見かけ上新しい進展はなかった。しかしこの自問自答が内地帰還後再び研究生活に入ったときに、大変な潜在力になっていたように思う。」太平洋戦争が終わって1年明けた昭和21年8月末、いよいよ日本送還の日を迎える事になった。港では中国官憲が、帰国者の所持品を厳しく検査し、書類はすべて没収される。久野先生は「輝石の研究」論文を、配船事務室で働いている友人に預け、又特に重要な輝石の分析データを書いた表は、靴下のなかに入れたままで靴をはき、冷汗三斗の思いで、無事船内持ち込みに成功したという。戦地にあつての先生は、軍務に忠実な良き兵士であった。しかし、草花を愛し、自然を友とした先生には、しよせん軍国主義は相容れないものであった。再三にわたる幹部士官候補生への勧告を断り、4年後に復員した時は星が二つ増えただけの上等兵としてであった。昭和29年、日本学士院は久野先生の「輝石に関する岩石学上の研究」に学士院賞をおくり、その功をたたえた。

久野先生はその学識と人柄のゆえに、海外でも多くの優れた知己に恵まれた。

先生の死を悼みアラスカ大学教授のフォーブス教授は米国地球物理協会誌に5ページにもわたる美しい追悼文を寄せている。“王者の宮殿で貴顕と語る際も、僻村の陋屋で農夫を相手に語る時も、全く隔てなく人に接した、飾らず謙虚で真摯な学究だった”と。先生は、浅草の小さな寺の一隅、葛飾北斎の墓の隣に埋葬された。その小さな墓石に刻まれた月光院達磨地久居士は、先生が死の床に伏す直前まで心魂を打ち込んでいたアポロ11号の月岩石の研究(先生は、アポロ月岩石試料が得られた場合、その研究に参加する事を日本から

ただ一人米国国務省から正式に要請されていた)に因んだものである。残念ながらアポロ月岩石試料は先生の生前には間に合わなかったが、先生の死後月試料の研究は、当時助手だった久城育夫さん等に引き継がれ、幾つかの優れた成果が発表された。日本の固体惑星科学(隕石学)は、これを機会に以降大きく発展する事になった。

数年前私はほぼ40年ぶりに先生のお墓を訪れてみた。葛飾北斎の墓は、いまは観光名所として墓地の略中央に移され大きな墓石で置き換えられていたが、先生の墓は昔のまま同じ寺内にひっそりと佇んでいた。



ジョセフ・カーシュビंक (Joseph L. Kirschvink)

カリフォルニア工科大学教授, 東京工業大学地球生命研究所主任研究員
(California Institute of Technology, and Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology)

専門分野 地球生命科学

The Accidental Discovery of a Chemotactic Override on the Swimming Direction of Magnetotactic Bacteria (an Amusing Story)

Sometimes in Science a simple observation is made that reveals an underlying process of a fundamental nature, yet is difficult to publish in the peer-reviewed literature. Hence, I take great pleasure in being able to convey to the Japanese Geoscience Union an amusing story – and an important discovery about magnetotactic bacteria – that should have been published over 35 years ago, except for the unusual nature of the ‘experiment’!

The magnetotactic bacteria are an amazing group of microbes that make an intracellular chain of magnetite (or greigite) crystals that turn the cells into swimming compass needles. Enough magnetite is present in these cells so that the magnetic orientation energy ($\mu \cdot B$) is greater than the thermal background energy (kT), so the cells rotate passively into alignment with the geomagnetic field despite Brownian motion. In all natural, marine and freshwater aquatic environments, these bacteria live at the aerobic/anaerobic interface and use the geomagnetic field inclination to control their up/down position within the sediments.

The first peer-reviewed report of these bacteria was published in *Science* in 1975, when I was a senior undergraduate at Caltech. I had been working with my mentor, Prof. Heinz Lowenstam, on magnetite biomineralization in molluscan teeth, so this new report of magnetite in these bacteria was very exciting. I spent the next several years looking for them. Surprisingly, in the first four years after their discovery no one had bothered to check in the southern hemisphere to see which direction the bacteria swam there. In 1979, an IAGA meeting was held in Canberra, Australia, preceded by a paleomagnetism field trip organized by the Director of the Canberra laboratory, Mike McElhinny. I took the opportunity on this field trip to test local streams and lakes for the presence of magnetic bacteria, carefully noting which way they swam. All went to the South

(Kirschvink, 1980). The paleomagnetists on the trip were intrigued at these bugs, and McElhinny even provided me a portable microscope.

During the IAGA meeting, they had an evening party to celebrate the 25th anniversary of Ted Irving’s founding of the Canberra Paleomagnetism lab. McElhinny asked me if I’d be willing to set up a demonstration of these new marvelous, magnetic bacteria. I’d found a wonderful source in the Canberra sewage treatment pond, and had a delightful time setting up a little coil system around the microscope so that you could flip the magnetic field direction. We could make a beautiful wave of magnetic bacteria swim back and forth. It was actually the hit of the party, as many of the guests were just fascinated by the ability to control billions of these little cells with the flip of a switch.

At one point during the night, a very famous Paleomagnetist – Sir Keith Runcorn – wandered up holding a glass of beer in his hand and asked me, “Joe – do your magnetic bacteria like beer?”. A bit puzzled, I said well – this is easy to test. So we took a glass microscope slide and put a drop of the sewage water on it, and made the bacteria swim to one side. I put a drop of the beer on the other side, and gently used the pipette tip to merge the two droplets. Visually, it was easy to see the diffusion front between the amber-colored beer and the sewage pond water. When we turned the magnetic bacteria around and made them swim toward this interface, we saw an amazing reaction – as the bacteria approached the amber-colored beer, they abruptly changed their swimming direction and backed up! They started swimming madly to the North, away from the beer! Normally, if you suddenly change the magnetic field direction when these bacteria are swimming, you can clearly see a circular arc as they rotate around passively. In this case, they did a very sharp, sudden V-shaped 180° change in swimming direc-

tion. I had never seen that before. While Keith Runcorn was looking at this, Mike McElhinny secretly replaced the beer in his cup with some of the sewage water, and the elderly Runcorn wandered off carrying the bacterial sample thinking it was his beer. [I don’t know if or when he discovered that prank!]

The next month, I tried the same experiment with bacteria extracted from a local pond in Phoenix, Arizona, using the same brand of Australian beer. Unlike the bacteria in Canberra, the American bacteria swam straight across the beer/water interface and slowly came to a stop within the beer. At first I concluded that the Australian bacteria could not handle their liquor well as American bacteria, but upon reflection it seemed that the Australian bacteria could detect the chemicals in the beer and reverse their swimming direction to avoid it. Over 20 years later a similar chemotactic response was discovered in other species of magnetic bacteria, and we now know that some of these bacteria actually have bundles of flagella at either end of the cell, enabling them to swim in either direction depending on what they ‘sniff’ in the water!

Reference

Kirschvink, J.L. (1980). “South-seeking magnetic bacteria.” *Journal of Experimental Biology* 86: 345-347.



唐戸 俊一郎

イェール大学教授

専門分野 地球惑星内部物理学

私の外国での研究生活

今回 JpGU のフェローに選ばれた人のリストを見ると、この中の日本人で海外で仕事をしている人は私だけであった。とすると読者の中には、私がどのようにして、アメリカで研究をするようになったのか、また、アメリカでの研究の仕方が日本とどのように違うのかに多少の好奇心をお持ちの方も居られるかもしれない。最近、「国際化」がうたわれていることも考えれば、私の経験を書くのも無駄ではないと思う。そこで、仮定の読者との対話形式でその話をしてみよう。

読者：「唐戸さんが、アメリカに行かれたのはなぜですか？」

唐戸：「私がアメリカに転勤したのは1989年ですが、それには伏線があります。私は学位を取ってから東大海洋研に勤務していたのですが、そのころオーストラリアに行って研究しました。そこでの経験がとてもよくて、結局アメリカに転勤ということになったのです。」

読者：「オーストラリアというのはちょっと珍しいですね。なぜアメリカに最初から行かなかったのですか？」

唐戸：「今でもそうですが、外国というとアメリカという人が多いですが、私はへそ曲がりなところがあって、ちょっと他人と違った事がしたかったこと。それと当時のオーストラリアには Ted Ringwood という学問的な巨人がいて、彼の学問の壮さ、大胆さにあこがれていたからです。」

読者：「とすると唐戸さんも Ringwood の研究室で研究されたのですか？」

唐戸：「ところがそうではないのです。Ringwood が当時日本の高圧科学の大御所だった秋本さんに「誰かよい高圧関係の若手研究者はいないか」と聞いてきたのです。そこで、秋本さんは私に、「唐戸君、この話、興味あるかね?」と声をかけてくれました。そこで、研究の proposal を書いて送ったのですが、Ringwood からは採用されませんでした。たまたま、お茶の時間に彼の隣にすわっていた Paterson が、こいつを試してやろうということで拾ってくれたのです。」

読者：「それでオーストラリアに行ってみてどうでした?」

唐戸：「よかったですね! 研究でも人生の上でも思う存分楽しみました。私のいたのは首都の Canberra (ANU (Australian National University)) で田舎ですが、海にも山(といっても2000m くらいの低山ですが)にも近く、また家の庭には原色のインコが飛んでくるし、カンガルーなどを見ながらのバーベキューなど楽しかった。そうしたのんびりしたなかで世界的な研究がされていたのだから、これは最高だと思いました。」

読者：「そんなにのんびりしてどうして素晴らしい研究ができるのでしょうか?」

唐戸：「一つには当時の ANU は超エリート大学で多額の研究費を持っていた事もあると思います。それ以上に大きいのはやはり、文化的な伝統、つまりイギリスの文化の伝統を感じました。アメリカに比べて、悠然と大きなテーマに取り組んでいる人が多かったと思う。Ringwood は高圧実験などの結果をもとに地球や惑星の起源という大きな問題を研究していた。それもひとつには予算にゆとりがあったためともいえますが。」

読者：「オーストラリアから日本に帰ってこれられ、3年後にアメリカに行かれた訳ですが、それはなぜですか?」

唐戸：「オーストラリアで随分と違う空気を吸って日本に帰ってきました。そして、Ringwood にならって何か大きな研究をしようと思色々模索していましたが、日本では新しい分野の研究をする事は難しかったです。私がオーストラリアの空気を吸いすぎたのも原因でしょう。」

読者：「そうしてアメリカに行かれた訳ですが、向こうでの研究とか生活とかはどうですか?」

唐戸：「よく、皆さんから、日本とアメリカとどちらがよいか? と聞かれますが答えは簡単ではないです。研究でも家族と一緒に生活でもそのどちらでも一〇には言えません。」

読者：「と言いますと?」

唐戸：「だって、このどちらでも色々な面がありますから。研究についていえば、日本と比べて、競争は遥かに激しく、その分、研究者は集中して切磋琢磨している。これは利点。しかし、競争があまりにも激しいので研究者の視野が短期的で浅くなっている傾向があるように思う。私はそれに反抗して長期的視野でかつ反主流の研究を目指しているのだけれど、そのような態度で生き延びていくのは難しいですね。」

読者：「でもアメリカでは日本に比べ研究費も潤沢にあるし、秘書などのサポートもいいのでしょうか?」

唐戸：「それは全くの誤解ですね。秘書(事務職員)の数は日本の半分以下でしょう。私の個人的な秘書など、もちろんいません。30人くらいの教官のいる学科ですが、秘書(事務職員)は全部で6人です。授業の準備、proposal 書きなど全部、自分でやっています。また、研究費の大部分は学生や post-doc の給料ですから、実質の研究費は非常に少ないです。日本から来ていた post-doc の人が私の研究室が貧乏なのに驚いていました」

読者：「そういう環境でなぜアメリカで科学が世界の第一線にあるのでしょうか?」

唐戸：「その答えは簡単ではありません。まず、アメリカでは 軍事に関連した分野には膨大な予算が出てその分野の進歩は著しい。だけど、それだけではない点もあると思う。それはアメリカには色々な国の人がいて、色々な側面から議論をしながら、かつ非常に効率的に仕事をしている。ヨーロッパに比べて、忙しい社会ではあるが、とことん議論をし、かつ議論が建設的な事が多い。ひらけた社会だから、違った意見のある人がいるのは当然で、そういうことを当たり前だと思って仕事を進めている。アメリカのせわしない、近視眼的なやり方はまねすべきでないが、この点は見習うべきだと思います。」



川口 淳一郎

宇宙航空研究開発機構教授

専門分野 惑星探査

宇宙探査について思うこと

この度、思いもかけず、地球惑星科学連合からフェロー称をいただき、当惑のいたりである。

私は惑星科学、理学の研究者ではなく、もっぱら宇宙工学面で惑星探査ミッションに携わってきた。科学目的を追求する「手段」を研究対象としてきている者であって、ここにこんな文章を寄せるのは失礼かもしれないが、ぜひご容赦願いたい。

この9月、インドは、火星探査機マンガリアンを火星周回軌道に載せることに成功した。折しも、NASAの火星探査機MAVENも同時期に到着し、月末にカナダで開催された世界宇宙会議(IAC)では、NASA長官から祝辞が述べられた。ようこそ一員へというところか。インド宇宙研究機関ISROの長官は、はじらいながらも、これを受けた。インドは、近年、中国に遅れはしたが、チャンドラヤーン探査機を月周回軌道に載せ、目覚ましい科学成果もあげ、その進歩には目をみはられる。記憶にも新しいが、中国の月探査機嫦娥-3は、月面着陸に成功し、またローバーをも走行させて、中国は、有人宇宙飛行面のみならず、宇宙開発全般において、まさに世界の一角を占める位置にある。

アジア圏での宇宙開発は、特に惑星探査面で、その展開は目覚ましく、我が国は、リードするどころか一挙に追い越されてしまった。日本国民の多くは、きっと気づいていないだろうが、中国は、去年1、8月に音速の10倍で飛行する極超音速機の試験飛行も実施し、航空宇宙技術面での立ち位置は、今や我が国からは、はるかかなたの背中も見えない位置にあると言ってよい。しかるに我が国は、その飛行試験計画すら立てられずにおり、何とも嘆かわしいかぎりである。

時期を同じくして、彗星 チュリュモフ・グラシメンコに到着した、欧州のロゼッタ探査機は、未だ人類が目にしたこともない、彗星核の姿を映し出し、子機のフィレ着陸機を投下せんとしている。かつてハレー彗星探査GIOTTOや、火星探査機Mars Expressで、我が国とレベルを同じくして競っていた彼らは、火星、金星への周回機投入、近傍探査に成功し、今、こうして彗星核の本格探査に挑まんとしている。当然、

火星探査倶楽部のメンバーである。わずかの10年余りの間に大きく水をあけられてしまった。

宇宙開発には巨額の投資が必要である。であるがゆえに、政府としても二の足を踏まざるをえなく、そこに理解は難くない。2012年に火星に着陸した、NASAの火星探査車Curiosityは、史上最高の能力を有する観測機である。移動観測所と言ってよいかしれない。原子力を動力源に、火星表面を走破し、掘削機を使って詳細な探査を行っている。そのプロジェクトには、ざっと1兆円を要している。一か八か程度の技術レベルでは、とても手を出せない。NASAは、それは無茶な挑戦ではなく、確実な成果を得るための経費としてとらえている。ラグランジュ点に置かれる、宇宙望遠鏡JWSTの経費はさらにその上をいく。世界レベルの宇宙科学、宇宙探査には、この規模の支出が必要なのである。1兆円は、国際規格のBig Scienceの標準価格と言ってもよいのかとも思う。対象は異なるが、国際宇宙ステーション、また国際加速器ILCもしかり。同じ規模である。もちろん、選択と集中が必要だが、必要な投資は確保しなくてはならないだろう。

かくのごとき状況で、我々は宇宙科学・探査で、何ができるだろうか？ 今やその期待すら抱けにくくなってきた。日本の伝統は、竹槍で立ち向かうことなのだろうか？ 宇宙基本法、宇宙基本計画を通じて、我が国の宇宙科学・探査は、縮小の一途をたどっている。我が国で議論されている、本格的なflagship的な宇宙科学計画は、国際標準の1/100規模でしかない。このくらいなら、このシーリングでできるミッションは何か？ それを行ってはどうか、という議論が繰り返されている。竹槍ではあっても、オリジナリティは発揮できなくても、このくらいならできる、そんな議論が横行しているのである。火星周回機くらいはできる、十分な装備はととのえられないが、月周回機もできるのではないかと。「装甲はこんなに薄いけれど強に伍せる」のではないかと。議論は、相変わらず竹槍精神のままではないだろうか。flagshipという表現があまりに虚しい。

「はやぶさ」は、でき過ぎだった。でもそれが竹槍でもできたじゃないか、と思わせたとしたら、それは間違いだ。そんな簡単に、世界レベルの成果は得られるものではない。「はやぶさ-2」は、2回目ではないか、と言われるが、そうではない。これが本番である。1兆円の規模を投げなくては世界レベルはできなくなっている。しかし、大きな技術リスクを抱えて巨額プロジェクトへ臨むのは、無茶というもの。工夫が必要である。人間というもの、たとえ失敗でも、繰り返すと、前進するものである。小さな規模の繰り返しでも、未知の大きな成果を得る方法はあるはず。誤解をもってほしくないのは、そういう挑戦は、「未踏」のものでなくてはならないことである。月着陸、火星着陸を行うためには、このような繰り返し法を採れというつもりは毛頭ない。それらは、すでに国際レベルではできてあたりまえのことである。よもや、こんな貧弱でも月とか火星とかの周回機ができるというような発想は論外だろう。周回機は入門機なのである。それで世界レベルの成果を出せというのは困難である。日本人は誤解しがちである。学習すれば大きな成果がやってくると思っている。大きな成果は、学習ではなく、道もない領域へ敢えて踏み込んでこそ得られるものだ。学習してノーベル賞がおとずれるわけではない。

できることだけを行ってもだめだと思ふ。できることは何か、という発想のしかたでは、新たな成果は得られまい。何十年か前の我が国の宇宙科学は、ニッチを探るといえば聞こえはよいが、まさにグリラだった。今、改めてグリラに戻りつつある。世界をリードできる、世界標準での評価にたえる成果を得て、世界の一步を踏めるような国であることが重要である。そういう国の国民であることに誇りを持てるようならなくて、はたして、次世代に何が残せるだろうか？ この受賞を機に、せめてもの貢献を、のこる人生で行っていききたいものである。



木村 磐根

京都大学名誉教授, 大阪工業大学名誉教授, 応用科学研究所代表理事

専門分野 超高層電波科学

学術情報公開と金沢 WPGM 会議

このたび日本地球惑星科学連合 (JpGU) のフェローとして寄稿の機会を与えられたので、学術情報の国際公開に関連した話題と、この連合の当初の思い出に関する独立した二つの話題をご紹介します。ここにした。

私の研究者生涯で宇宙科学関係の研究活動は科学衛星観測によるものを含め多方面にわたるが、そのバックボーンの一つは VLF (超低周波帯) 電波の地球周辺プラズマ空間内での伝搬通路計算 (レイトレーシング) 法である。数 kHz オーダの電波のこの領域内の伝搬は、地磁気の影響を強く受けるので、ループ状になっている地球磁場の形に大きく依存する。この通路はプラズマの空間分布と、地球磁力線方向と強さを決める解析的な式を与えて伝搬路、伝搬ベクトル方向、及び伝搬に要する時間を計算する方法である。すなわち電離層下部の出发点から、与えられた方向を初期条件としてレイトレーシングの式を逐次数値積分する。地上高度 100 km 以上の領域のイオンを含むプラズマ分布は定常的には拡散平衡などの解析的な数式で近似されるので、これらを前提とすれば通路は比較的簡単に追跡できる。これらのレイトレーシング手法は当初は主としてホイッスラーという、雷から発生する電波現象の理解に用いられてきたが、我が国でも科学衛星観測が広く活用されるようになり、地上から発射された航法用の電波、たとえばオメガ信号 (10 kHz 付近) を科学衛星あげばの搭載の観測器で受信し、その電波の電波源からの伝搬時間と伝搬方向、並びに衛星位置での電子密度を衛星搭載機器により in situ で測定することができたので、レイトレーシングにより得られたこれらの情報と一致するようなプラズマ密度分布を決めることができ、衛星の南北 1 時間ほどの軌道に対応して、衛星軌道経度付近のプラズマのグローバルな分布をそのタイムスケールで解析関数によって表現することが可能となった。

このように我々の開発したソフトは、プラズマと地球磁場の影響のある空間内の電波の通路計算に広く使用できるものであり、応用範囲は広い。その原理の理解はそれほど難しくはないが、ソフトウェアの

開発には結構時間を要する。一方科学衛星での観測技術が精密になってゆくの、特に地球周辺の超低周波、あるいは数 MHz の短波帯電波の電離層・磁気圏内の伝搬情報を、科学衛星観測の補助手段として使用する若い研究者のために、そのソフトウェアを国際公開するのは意味があると判断した。また国際的な要請もあったので、金沢大学の後藤由貴助教授の協力を得て 2010 年 3 月から金沢大学のサーバーから国際公開をして頂いた (<http://waves.is.t.kanazawa-u.ac.jp>)。その後のアクセス状況を見てみると、国内はもとより、米国、英国、フランス、ドイツ、カナダ、オーストラリア、フィンランド、ベルギー、インドなどの主要大学、研究機関からの多くのアクセスがあった。近年インターネットが充実し、我々は科学技術の現状把握にも、また最新の学術・技術情報を得る手段としてもインターネットが大いに役立っている。一方 JpGU の学術誌が最近オープンアクセスジャーナルとして出版されていることは上記の観点からも大いに歓迎される。特に若い研究者にとっては、学術論文が無料でアクセスできることは、ソフトウェアの国際公開同様大変歓迎されることである。

昨年 5 月に開催された JpGU 総会は創設 25 周年記念の総会であった。思い出すと、米国 AGU の誘いかけにより、1990 年 8 月に金沢市で Western Pacific Geophysics Meeting (WPGM) の第 1 回が開催された。日本の学界は AGU と異なり、1989 年以前は、各分野の学会が独自に活動していて春秋の講演会もそれぞれ独立に開催していたので、米国のようにそれらの学会が一つになって活動することのメリットは認識されており、学会連合のための代表者の会合はもたれていた。

筆者は、当時地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) の会長を務めていたが、上記の金沢の国際会議の 4 年ほど前から、当学会関連の米国のローデラー氏や、米国地球物理連合 (AGU) の事務局長スピルハウス氏からのコンタクトがあり、日本を含む西太平洋沿岸諸国を対象にした AGU ミーティング (WPGM) を日本で開催できないかという打診があった。当時は米国 AGU

のアジア諸国への働きかけに対しては、AGU の覇権を日本を含む西太平洋地域にまで広げようとする意図での企画であり、我が国の関連学会ではそれを歓迎しないという意見が強かった。SGEPSS の運営委員会では、米国からの提案がむしろ学会連合推進の足がかりとなると考え、AGU 主催のシンポジウムを日本で開催するというのではなく、日本の関連学会が米国と対等の主催者となるという立場で開催する姿勢を貫き、また本学会が国内の他の学会を牽引する形で、積極的に AGU への協力姿勢を出すべきであるという結論を出し、同学会の総会でも承認された。その後開催候補地として金沢市が良いということもわかり、AGU はこれらの総合案を了承して、1989 年 3 月に正式に日本の地球物理関連学会に共同開催を申し入れてきた。その結果日本側は、我々の学会 (SGEPSS) のほかに地球化学、測地、地質、気象、海洋、地震、火山、陸水関係学会の賛同が得られ、同年 4 月、AGU と日本の計 9 学会からの代表による組織委員会が開催された。また関連して翌 1990 年 4 月の学会を地球化学、測地、地震、火山、SGEPSS の 5 学会の合同開催とすることも決定された。1990 年 8 月に開催された金沢市での WPGM は、上記の国内学会のご支援が実り、1,077 名 (内国外 225 名) の参加を得、成功裏に開催された。この年の 4 月に始まった前記の 5 学会による東京工大での合同開催が、4 半世紀の間に国内の 50 の学協会からなる大連合体に発展するとはどなたも予測できなかったと思われる。この素晴らしく成長した連合が我が国のみならず世界のこの分野の学術向上発展のためにも大いに貢献できることを祈念している。

当初の方向づけは、前記の諸学会の強いご協力によったことは勿論であるが、SGEPSS 学会会員として努力された本蔵義守会員、及び WPGM 金沢開催の発案と会議の成功に貢献された金沢大の長野勇会員のご貢献に負うところが大きい。これらの経緯の詳細は SGEPSS の会報 191 号 (2007 年 4 月) にも掲載されている。



久城 育夫

東京大学名誉教授

専門分野 実験岩石学

昔の岩石学講座のこと

この度は日本地球惑星科学連合のフェローに選んでいただき大変恐縮している。私が岩石学の研究を始めたのは今から50年以上前であるが、その当時わが国の地球科学においては異なる分野間あるいは大学の講座間の壁が高く、分野を越えた研究上の交流は極めて少ない状況であった。その為もあって多くの地球科学者の視野も限られていた。その後、わが国の地球科学における異分野の研究者間の研究交流は次第に盛んになり、研究者の視野は分野を越え、また惑星科学を含むまで広がった。さらに、分析・実験技術の進歩やコンピューターの導入および斬新な考えや新事実の発見などにより多くの優れた研究も生まれた。この半世紀のわが国の地球惑星科学の進展は目覚ましい。

一方、そのような地球惑星科学の進展のかけで専門教育や研究者養成について問題を生じているとも聞く。例えば大学院学生の基礎的および専門的知識の不足や問題意識の低下などである。昔はどここの大学でも小講座制の為もあって、学部および大学院において、分野は限られていたが徹底した専門教育や研究指導が行われていたと思う。以下、私が大学院学生であった半世紀前の頃の東大岩石学講座のことを書く。当時の岩石学講座では主に久野久、都城秋穂両先生が研究を指導していた。岩石学講座ではフィールド調査と岩石の顕微鏡観察が基本であったが、造岩鉱物の研究が特に重視されていた。その頃は今と違って鉱物の分析結果を得るのに手間も時間もずいぶんかかった。分析の為にはまず鉱物を出来るだけ高純度で分離しなければならぬ。久野先生はある火山岩の石基のピジョン輝石を顕微鏡下で一粒一粒選り分ける作業を毎朝30分間、それを7年間続けてやっと分析出来る量を分離し分析結果を得たと聞いた。それは極端な例ではあるが、とにかく当時は鉱物の分析データをはじめ岩石についての種々のデータを得るのに多くの労力を要した。それだけに学生も得られたデータについてそれらの意味するところを一生懸命に考えた。また関連する他の研究者の論文も出来るだけ批判的に読み問題点を見つけようとした。当時、久野、都城両先生は世界をリードする研究を発表していたの

で、大学院学生もその影響で意識も高くなり尖端的な研究にも臆せずに取り組む気運にあったと思う。私も久野先生の研究に刺激を受け、当時火成岩岩石学の中心的問題になりつつあった玄武岩マグマの起源の研究を始めた。私は博士課程の時に一年上の坂野昇平さんとはしばらく同室で、机も向かい合わせに接していた。坂野さんは変成岩について既に尖端的研究の成果を発表しており、私は彼から変成岩や熱力学などについていろいろと教えてもらい、また議論もした。坂野さんは話や議論は明快であるのに机の上や周辺は極めて乱雑なのが印象的であった。学生の研究に対して久野、都城両先生とも普段は進んで干渉はしなかった。しかし毎週開かれる岩石談話会における研究結果の発表や関連論文の紹介に対しては両先生とも大変厳しく、また先輩達の質問も多く、学生は返答出来ず立ち往生することもしばしばあった。私も度々厳しい質問や批判を受けた。しかし、その談話会で研究発表を無事に終えることが出来ると学会での発表などは平気になったし論文も書けた。後に私は岩石学講座を担当することになったが、この談話会の'伝統'を保つよう心がけた。私にとって岩石学講座で過ごした大学院時代は、緊張感を持ちつつ研究に集中した、そして後の私のマグマの起源に関する実験的研究の端緒ともなる極めて有意義な時であった。昔の講座制にはいろいろ問題もあったが、少なくともここに記した頃の岩石学講座は、優れた指導者の為もあったが、大学院学生の専門教育や研究指導および意識向上に大変効果的であったと思う。大学院重点化後は殆どの大学で小講座制を廃止し大講座制をとっている。大講座制は小講座制の弊害を除き、幅広い分野の教育・研究を行うことが出来、また新しい分野の研究を生む可能性もあるが、一方で効果的な専門教育や研究者養成の利点が失われ、上にあげたような問題を生じたとも思われる。近年の状況を聞き昔の岩石学講座のことを思い出した次第である。

編集部から加筆の要請があったので、以下、私の研究について少し書く。私の主要な研究時期は、私の関係する分野において大変エクサイティングな時期であった。ま

ず、私が大学院後期の頃に久野先生が島弧の玄武岩マグマの成因について画期的な論文を発表した。またその頃、都城先生が変成岩の研究で変成相系列という新しい概念を提唱し、それを世界の変成帯に適用して変成岩の研究に新しい道を拓いた。私が大学院を終えてワシントンのカーネギー研究所に行った1962年にはH.S. YoderとC.E. Tilleyが玄武岩マグマの成因の画期的な論文を発表した。この論文と久野論文により玄武岩マグマの成因に関する研究が一気に盛んになった。その少し前の1960年頃にカーネギー研究所のF.R. Boydが玄武岩マグマの発生する圧力条件の実験がやり易いピストンシリンダー型高压装置を開発した。私はこの装置で玄武岩マグマの成因についての実験を始めた。その頃はまだマンテル上部物質の相平衡や融解について的高温高压下での実験データが少なく、実験を始めると徐々に興味ある結果あるいは予想外の結果が得られて興奮した。久野論文を支持する結果も得た。1960年代末にはプレートテクトニクスが提唱され、その発展とともにマグマの成因がより具体的な条件で議論されるようになった。私は1967年頃からマンテルの融解やマグマの成因に及ぼす水の効果についての実験を始めており、その結果は沈み込み帯でのマグマ、特に島弧の安山岩質マグマの成因に適用された。またその頃、深海底の掘削も進み海嶺玄武岩が多く採取され、海嶺玄武岩マグマの成因についての研究が盛んになった。私もその研究に参加しM.J. O'HaraやD.H. Greenらと論争を行うことになった。この論争は1980年代末まで続いた。1969年にはアポロ計画により月の岩石が地球に持ちかえられた。はからず私も久野先生の後を継いでアポロ月岩石の研究をすることになり、極めてエクサイティングな経験をした。また、同じ頃に南極で多量の隕石が発見され隕石研究も進展した。私はそれにも関わり融解実験や真空実験も行った。アポロ計画の遂行で月は地球科学の対象となり、さらに惑星探査の進展により惑星も対象となって地球科学は地球惑星科学へと発展した。私は幸運にも上のような画期的な出来事が幾つもあった時期に研究が出来た。



熊澤 峰夫

東京大学名誉教授, 名古屋大学名誉教授

専門分野 固体地球物理学, 高压高温物理学

近況報告

80才を過ぎて動き回ると若手に迷惑だと考えて少しは控えていた。だがご意見とご支援を得たいことができたので、あえて皆様へをお願いを兼ねて近況報告をする。

1994年アクロス (Accurately Controlled, Routinely Operated, Signal System) と名付けた地球内部の能動的常時監視観測の技術開発を武井康子さんとはじめた。その目的は、波を常時送信する魚群探知器のように、火山の根や地震発生場の状態とその時間変動を精密監視観測する技術の確保だった。対象は水素イオンを含む流体が関わって著しい構造感性をもつ多結晶集合体 (岩石) の挙動である。地域と時代の個性に依存するこのような非線形現象の予測には、的確で高精度の常時観測データとその分析的研究との連携蓄積がないと「僥倖狙い」になってしまう。昔 Physics Today に載った漫画を思い出す。街灯の下で物探しをしている男に何をしているのかと尋ねると、遠方を指して「あそこで失くした鍵を探しているのだが、暗いからここで…」という画だ。

物理学が関る諸分野では「自然現象の研究」とその「研究方法の研究」に等しく対処する。地震学者たちはアクロスを「地震予知の新兵器」と謳いながらも、その質的な向上に資するゆとりなく、次々と予期せぬ地震災害に遭遇し、地震学へ社会的期待を失いかねない。ここにはわれわれの研究戦略に何か欠損があったのだ。上述漫画で言えば、性能の高い照明器具があればよい。なければ創ればよい。この伝で言えば、アクロスは、地下の物質と状態をカラーホログラフィのムービーで物理的に観測する唯一の手段である。

藤井直之さんと小川克郎さんの支援をえて必要な開発方針の目的が立ったと確信したら、すぐ兵庫県南部地震が発生した。多くの研究経費と当時若手の中谷正生、山岡耕春、国友孝洋の皆さんを含めた大勢の協力で、小型プロトタイプを試作試験を経て、1996年には、原子力機構 (岐阜県土岐市) に地中音波送信所をつくることができた。その使い方からデータ解析のノウハウ獲得までには、かなりの試行錯誤と年月を要した。これは弾性波伝搬の送信点-受信点間グリーン関数9成分の精密データ取得

方法を確保したことになる。データの質は若干下がるが、国内数か所で常時観測が行われているのが現状だ。このアクロスの構想は、地震研究所地震工学の東原紘道さんも、殆ど同じ時期に建造物の耐震評価などに有用とみて開発を開始していた。

弾性波から少し遅れて、電磁拡散波を使う電磁アクロスの研究開発に中島崇裕さんたちが着手してくれた。弾性波と電磁波の同時連係観測は、地震場火山場の物理を把握するのに掛け替えのない相補的機能をもつが、地震学者の関心は薄いようだ。定年後、静岡大学で藤井・中島のお二人が牽引して、若干の研究を継続したが、各方面からの支援切れで休眠していた。

2004年には東原さんが、JCEAM (Japanese Consortium of the Earth's Active Monitoring) という組織を作り、観測地震学をやっていた笠原順三さんも加わって、世界初の Active Monitoring の国際会議を日本でやった。ロシアも類似の巨大な装置を使って交流連携があった。中国通の石川有三さんが、中国の国家地震局にアクロスを持ち込み、山岡さんはアメリカにアクロス技術の輸出を試みた。しかし、どこも、必須の性能は確保できていないようだ。私見では、成果の即効狙いで基礎から積み上げる愚直さの欠損に原因がある。

後で知ったのだが、アクロスは Optic Frequency Comb (2005年ノーベル物理学賞) というレーザーを使う計測方法の弾性波版、低周波電磁拡散波版の「周波数コム」だった。その骨子は、精密に制御した離散的線スペクトル (楕円型) をもつ定常信号を入力し、その出力を測定し伝達関数を得ることだ。これは、既知の方法のうちで雑音に最も強く、雑音に埋もれた極微小の時間変化も検出できる。事実、送信点から 50 km 離れた地点で、振幅が 1 fm ($=10^{-15}$ m ~ 素粒子の寸法) 程度の振幅の信号を検出できている。現行の装置は、20年前に設計したものが基本で、その後の的確な研究開発投資が薄く、ハードウェアの性能はあまり向上していない。

私自身は定年で自由人になったので、性能向上にむけた可能性探索を続けたが、確信を持てる構想に至らなかった。そこで「終活」として試行錯誤の書類の山を処分

し始めたが、莫大な時間と情熱を注ぎ込んだ資料を捨てがたく茫然と眺めていた。そこで「高校生でも解るほど初等なこと」の見逃しに気付いて終活の内容が激変した。弾性波の送信装置寸法を現実的な範囲で従来よりも 10 ~ 20 倍大きく、周波数を ~2 桁は下げられる。そうすると、長期間のデータ蓄積は要するが、いくつかの工夫を合わせて、送信信号は地球中心核を抜けた地球の反対側でも観測できると予測できた。その実現は、固体地球科学にとって滅多にない大飛躍だと考えた。

東原さんのほか、多くの人が賛成してくれたので、全地球内部を重点の対象にした能動的監視観測研究の推進戦略を検討する課題で、地震研究所共同利用 (研究集会) を申請した (昨年 10 月)。研究技術の開発では、日本の地震学者達の協力を得にくく感じたが、「全球の能動的観測」という目標にむけた研究の技術的基盤となれば、もっと広い範囲の研究者の関心と支持を得られようし、結果的に、地震・火山など地球浅部の研究にも基礎を提供できると判断した。しかし大きな心残りがあった。それは地震や火山場の健全な監視観測に必須の力学的特性と電磁気的特性の相補関係を的確に繋ぐ懸案の課題に手がつけられないことだった。

その後、東工大の火山流体研究センターの小川康雄さんと会う機会があって、上記の問題を検討した。草津白根山では、特異なモノクロ地震の発生もあり、現在噴火の可能性もある興味深い対象である。そこで、草津白根山をテストフィールドとして、電磁と弾性のアクロスの同時監視観測手法の開発と研究を推進する、という構想が蘇ったのだ。東工大の ELSI (地球生命科学研究所) の所長参事の中澤清さんは、廣瀬敬所長と諸事を検討して、私を ELSI の Research Advisor に雇用して研究推進をはかることにした。そこで、小川、東原、藤井の皆さん方と具体的な作業に着手したところである。以上が「現状報告」だ。この研究計画の推進に、忌憚のないご提案やご批判、ご支援を賜りたく、ご連絡を kumazawa@elsi.jp に頂けると有り難いと思っている。



河野 長

東京工業大学名誉教授

専門分野 地球電磁気学

日本地球科学の国際発信

このたび私は日本地球惑星科学連合からフェローに選んでいただいた。ありがたいことである。私の連合やその前身との関わりは、1990年の第1回合同大会（東京工業大学）と1998年の第9回合同大会（代々木のオリンピック記念青少年センターで初めて開催）の大会委員長を務めたこと、当時地震学会と気象学会の会長（理事長）であった石田瑞穂さん・松野太郎さんと相談して、各学会の会長たちに呼びかけて「地球惑星科学関連学会会長等懇談会」という合同大会の応援団とでもいえる組織を立ち上げたことが主な事かと思う。

ここでは、連合との関係を離れて地球科学における日本からの国際的な発信について考えてみたい。私は1999年から2003年まで国際測地学地球物理学連合（IUGG）の会長を務めた。その前の4年間はIUGGの中の国際地球電磁気学超高層物理学協会（IAGA）の会長であった。一般的に言って国際組織内で日本の存在感はきわめて薄い。これらの国際学会への参加者数から言えば、開催国とアメリカについて日本は第三位ぐらいになることが多いのに不思議なことである。日本からの参加者の多くは、科研費や国際研究集会旅費などの支援を受けて国際学会に出席している。これらはいずれも元は税金であり、援助を受けた参加者は国際発表の成果について国民に対して報告する義務を負っているのだからなおさらである。

論文などの国際発信の場として現在最も重要なのは、地球科学で世界最大かつ最強の組織である6万人以上の会員を持つアメリカ地球物理学連合（American Geophysical Union）であろう。

しかしここでは本来の国際組織であるIUGGや国際地質科学連合（IUGS）などについて考えてみたい。これらは国際科学会議（ICSU）の傘下にある任意団体で、発表の場としてみれば4年に1回開く総会が数千人の参加者を集める程度であるが、国際団体であるためにAGUやEGUにはない機能を持っている。たとえばIUGSはUNESCOと共同で地質科学国際研究計画（IGCP）を1972年から実施しているが、これは実にUNESCOの事業の中でも最も高い評価を受けているものである。かつて

アメリカがUNESCOを脱退していた際にもIGCPのみに使うという条件で応分の負担金を払っていたほどである（だから審査員の科学者は送り込んでいた）。UNESCOはアメリカからの攻撃などで何度か組織の継続が危ぶまれたことがあるが、その際にもIGCPなど有意義な事業もあったことが組織を消滅から救ったと言ってもよいほどである。

IUGGもIUGS同様国連に属するいろいろな組織と共同して様々な国際協同科学事業を推進している。一つの例としては、UNESCOとIAHS（IUGGの中にある国際水文学協会）が行っている国際水文学計画があげられる。これは特に砂漠やその周辺の地域での水の問題の重要性を反映して、1975年の開始以来現在も継続している国際プロジェクトである。しかし現在もっとも著名なのは国連気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の活動かもしれない。IPCCは名前の示すように国連の中にある組織だが、科学の面ではIUGGの中のIAMAP（国際気象学大気物理学協会）とIAPSO（国際海洋学協会）の寄与が非常に大きい。IPCCの報告書のとりまとめなどでは、これらの協会から推薦された科学者たちが多く執筆や編集に参加している。

さて、いったん国際事業が始まると日本はその事業に参加することに変な熱心である。しかし大抵の場合にこうした国際事業はすでに出来上がった仕組みとして日本の中に入ってきており、日本からアイデアを出して作ったと言えるものはほとんどない。しかしどんな事業にしても誰かが考えて制度設計をしたはずである。いったい誰が、何処で、どのようにしてこれらの計画を立てたのだろうか。

様々な国際共同事業も、実は国連やUNESCOなどが独自に企画したわけではなく、IUGSやIUGGなどの側から科学の面から問題提起したことがもとになって発足したものが多い。つまりこれらの国際組織は、科学面から必要な国際事業を考え出すシンクタンクの役割も持っているのである。しかもこうした問題提起をするとき、最初に声を上げるのは理事会や執行委員会といった国際団体の最高レベルにおいてではなく、Division, Commission, Working

Groupというようなより下のレベルの事務的会合（business meeting）からであることがしばしばである。こういう組織の下部レベルの事務的会合の最も大事な機能は、次の総会などの折にどのようなシンポジウムを開くかを議論し、またそれまでの期間の連絡などを担当する役員を決めることであるが、必要と思えば国際共同事業の提案だってすることができる。これらの組織はだいたい民主的な運営をされているので、誰でも出席でき発言もできる。こういう会合に積極的にかかわってれば、様々な国から来ている人たちと知り合うこともあるし、自分の関心があるセッション提案をすることもできる。場合によってはほかの人が提案したセッションのコンビーナの一人に推薦されたりもする。

私の経験からすると、日本からの参加者にはこういう事務的会合を嫌いなるべく出ないことにしている人が非常に多いようだ。これは何も若手に限らず、中堅以上で国際的にも学問を引っ張っていくべき立場にある著名な先生方にも多く見られる。英語で議論するのが面倒臭い、学問以外のことで時間を取られるのは嫌だ、こういう会議では知らない若い奴からなれなれしくされるのが不愉快だ、など様々な理由を言うかもしれないが、これらの考えはいずれも事務的会合の重要性を全く理解していないことを暴露している。学会を指導する立場にある人が事務的会合に出ないのは怠慢であるというほかない。若い人たちも先生たちの背中を見て育つから、これではいつまでたっても国際会議における日本人の存在感は向上しない。

以前は国際的な共同事業を作ろうとするとき、アジアの代表がほしいから日本から誰か出してくれなどという要請が外から来ることもあった。しかし現在では中国が急速に台頭し、また戦略的に国際組織の中の重要なポストを要求するようになってきている。日本人科学者がもう少し積極的に意見を述べれば、相当な割合で提案を実現できる可能性があり、同時に日本の存在感も増すのではないだろうか。もっと皆さんが国際的な事務的会合の重要性をよく認識して、そこで自分の考えを積極的に発言するように努力することをお願いしたい。



近藤 豊

東京大学教授

専門分野 大気化学, 地球大気環境科学

大気エアロゾルの気候影響

この度は日本地球惑星科学連合のフェローに選出頂き、関係各位に深くお礼申し上げます。またこの栄誉はこれまで多くの会員の方々と共同研究やご指導の結果であり、お世話になりました皆様に深く感謝いたします。

人間活動により地球規模での大気組成は変化しており、気候システムや人間の生存環境としての大気の質などに大きな影響を与えています。大気の現状を調べ、この変化に関わる過程を理解し、将来を予測することは大気科学の主要な研究課題です。私は、成層圏オゾンの破壊、対流圏オゾン、気候変動に関わるエアロゾルの研究に取り組んできました。ここではエアロゾル、特にブラックカーボン (BC) に関する研究の一端をご紹介します。この詳細や成層圏オゾンの破壊、対流圏オゾンの研究については、“近藤豊, 地球大気環境科学に関するオゾンとエアロゾルの研究の推進, 2013年度藤原賞受賞記念講演, 天気, 60巻, 27-45, 2013年”を参照下さい。

大気中のエアロゾルは可視部の太陽光と相互作用します (直接効果)。無機や有機化合物からなる光散乱性粒子は太陽光を散乱し地表面や大気を冷却し、BCや鉱物粒子に代表される光吸収性のエアロゾルは太陽光を吸収し大気を加熱します。これらのエアロゾルは粒径や化学組成によっては雲核として作用し、雲の微物理特性を変え、アルベドに影響を及ぼします (間接効果)。BCや鉱物粒子は氷晶核として作用し雲の相 (水・氷) を変えることにより、アルベドや降水過程に影響を与えられ考えられています。エアロゾルは寿命が短いため、空間的・時間的変動が著しく、その気候影響の推定には依然として大きな不確実性があり、気候変動の理解に大きな障害となっています。エアロゾルの化学特性・物理特性やその挙動を理解することはエアロゾルの気候影響を正確に理解する上で重要です。

BCは、炭素燃料の不完全燃焼により大気中に放出される黒色のエアロゾルです。BCは直接大気を加熱することに加え、雪氷面に沈着すると雪氷の融解を早め、地表面の反射率を低下させることで北極の温暖化を加速することが懸念されています。BCの光吸収効果はBCの粒径分布やBC

の混合状態 (BCが他のエアロゾル化学成分で被覆されている状態) に依存するため、これらは鍵となるミクロなエアロゾル物理量です。しかし最近まで、個々のBC粒子の質量・混合状態を正確に測定できる測定手法がなく、BCの気候影響の研究の大きな障害になっていました。

東京大学の我々のグループはレーザー誘起白熱法 (LII法) に基づき、これらの物理量を高精度で測定する方法を開発してきました。BCはレーザービーム中で4,000 Kに加熱され白熱光を放出します。白熱光強度、特にその最大強度からBC質量を推定するのがLII法の原理です。白熱光強度が個々のBCの質量と形状のみに依存し、BCの混合状態の干渉を受けないことが分かりました。さらに独自の校正法と組み合わせBC質量の高精度測定法を確立しました。またBC粒子の散乱光強度の時間変化からBCの混合状態を高精度で推定する新たな手法を開発しました。混合状態の測定は光吸収特性やBCが雲に取り込まれる過程の定量的理解に極めて重要です。

LII測定器を用いて、2008年にNASAと共同で、北極でのBC航空機観測を実施し、春季の北極でのBCの発生源としてロシアの森林火災が重要であることを示しました。2009年には、東アジアで初めて航空機観測を行い、3次元的なBCの濃度分布の測定からBCが排出されてから降水除去されるまでの一連の過程を体系的に解明しました。これらの知見は、BCの気候影響の推定に極めて重要であり、IPCCの第5次報告書においても大きな貢献となっています。

また、従来のBC光吸収を利用した測定法に大きな不確実性の生じる主な要因がBC以外の成分の干渉効果にあり、それらの成分を加熱除去することにより、信頼性が乏しかった光吸収法を高精度化できることを示しました。この研究に基づいて、BC質量濃度の自動測定器COSMOSを開発し、光吸収法としては世界最高の精度・安定性を達成しました。COSMOSにより中国の下流に位置する辺戸岬 (沖縄)・福江島 (長崎)、八方 (長野) での長期観測とモデル比較から中国からのBC排出量を約20%の誤差で推定することができました。

ここでは、大きな発生源の下流で濃度が薄くなり過ぎない程度に混合された空気塊を少数の代表性のある観測点で長期間測定するという方法論に基づいています。排出量の統計的推定はそれ自身では検証できないため、このような大気観測が有効です。

降水中BCの粒径分布は、雲核として作用する大気中BCの粒径分布を反映していると予測されますので、BCの降水除去を理解するために重要な物理量です。この測定のため、降水中のBCを一定の割合で空中に取り出し、BCの粒径分布を推定する方法を開発しました。沖縄での降水中BC濃度の長期測定から、中国起源BCの降水除去量が春季に最大になることを初めて明らかにしました。春季のBC除去量は年間総除去量の約76%にもなります。中国から南下する高濃度BC空気塊が梅雨前線で上昇し降水過程を経ることが春季の効率的な降水除去のメカニズムであることも解明しました。中緯度での典型的な気象現象である前線活動が、エアロゾルの除去に重要な役割を果たすという明確な証拠です。この手法により、様々な気象条件でのBCの降水除去を地球規模で理解することが可能になると考えています。

この測定手法は、アイスコア中のBCの高精度測定にも用いることができます。雪氷研究者の方々と協力して、この分析の準備を進めつつあります。北極の過去の気候変動の実態やその原因を調べる重要な手がかりが得られることが期待されます。また北極域での降水・降雪の採集も定期的に行っており、雪面へのBC沈着過程を観測から調べる研究も進めています。

エアロゾルの質量濃度や数濃度の大部分を占める光散乱性粒子も直接・間接効果を通して気候に大きな影響を及ぼしていると考えられています。このような効果の定量的な研究をさらに前進させるためには、先端的なエアロゾルや雲粒子の測定手法のさらなる開発が重要です。また今後、エアロゾル・雲粒子・降水粒子といった粒子間の相互作用や、それらによる大気放射過程への影響を気候変動や地球システムの応答といった観点から理解するといった研究が進むようになると思われます。



櫻井 隆

自然科学研究機構国立天文台教授

専門分野 磁気流体力学, 太陽物理学

フレアとオーロラ, コロナと地球磁気圏

この度は栄えある JpGU フェローの第 1 回受賞者 43 名の片隅に加えていただき感謝の念に堪えません。受賞理由は「太陽物理学, 特に磁気回転星の星風基礎理論に関して顕著な貢献」としていただきましたが, この仕事は 1985 年頃のもので, またほとんど個人研究ですので, ここでは私と磁気圏物理学との関わりについて, 思い出と期待を述べさせていただきますと思います。

私の今の研究テーマは太陽物理学ですが, ここに至ったのは, 思い返すとほとんど偶然です。子供の頃から理科は好きでしたが, 小学校 5 年から始まったクラブ活動では化学実験のほうに興味があり, 中学でも初めのうちはそうでしたが, 中学 2 年の頃, 友達に天文好きなのがいて引き込まれました。ただ, 1956 年 (6 歳の時) の火星の大接近の時, 新聞でも読んでいたのでしょうか, 父親が「あれは火星だ」と教えてくれた時の, 夕暮れ時の家の庭の柿の木のシルエットと赤い火星はなぜかよく覚えていいます。大学受験の時期に入り, 本格的に天文学を勉強したいと考えるようになりましたが, 当時も現在も, 大学で天文学科があるところは, 東大, 東北大, 京大 (宇宙物理学科) だけです。家が東京なので東大受験となるかと思いきや, 1969 年 4 月入学の試験はいわゆる大学紛争のため中止となりました。研究は若いうちが大事だから時間を無駄にしないように, という高校の先生のアドバイスもあり, 東京工大の物理学科に入学しました。卒研の指導教官は野沢豊吉^{のりきち}といて, 原子炉の将来構想などについて政治団体のブレーンのようなことをしている先生でしたが, 同じ研究室配属の 4 名の中にプラズマ物理をやりたい者もいたので, 天体プラズマの勉強ということで Alfvén の Cosmical Electrodynamics の輪講をしてくれることになりました。大学院は東大の天文学専攻を受験し合格しましたが, 研究分野としてはプラズマ物理を活かす最も手近な道として太陽を選びました。研究者として生き残るための選択 (苦渋の, とはいいませんが) といえます。

修士 1 年の時の指導教官は「仮親」といって, 研究分野を決めるまでのアドバイス役で, 私の場合は太陽電波の高倉達雄先生でした。高倉先生から, 東京天文台・太

陽電波部で MHD 理論をやっておられた内田豊先生を紹介され, ゼミに出るようになりましたが, 観測的な仕事もしておいた方が就職のためになるから, という内田先生のアドバイスで, 太陽物理部にも出入りし, 当時アメリカから帰ったばかりの助手の内田捷雄^{たつお}さんの指導も受けるようになりました。

田中さんは太陽フレアの観測的研究で有名で, 1972 年 8 月の大フレアをカリフォルニアのビッグベア天文台で自ら観測し論文にまとめていたこともあり, フレアとオーロラを共通のメカニズムで理解しようと目論む (?), 宇宙研の大林辰蔵先生が時々田中さんの研究室にいらしていました。大林先生は「宇宙空間物理学」という教科書をまとめた直後で, 40 代後半でした。内田先生も, 宇宙研の西田篤弘先生と東大では同期だったことから, 磁気リコネクションの重要性には早くから注目していました。こういう状況にあって, 「太陽フレアとオーロラ・フレア」などと題した研究会が 1970 年代半ばから 1980 年代にかけて開かれることとなります。SEPAC 能動実験 (人工オーロラ実験) をやっておられた宇宙研・河島信樹先生や, 核融合の若谷誠宏先生, 磁気圏波動の松本紘先生なども後に参加されました。Ugai and Tsuda (1977), Sato and Hayashi (1979) など, 磁気リコネクションの基本論文が出版されたのも同時期です。

フレアとオーロラの比較研究でどれだけ成果があったかは意見の分かれるところだと思います。磁場構造が地球磁気圏は双極子磁場が基本にあるのに対して, 太陽の黒点周辺の磁場は双極型とはいえ, 時々刻々変化し, 複雑です。地球磁気圏は太陽風が定期的に吹き付ける, 外部駆動源がはっきりした系であるのに対し, 太陽では新しい磁場が浮上したり表面流が磁場を歪めたり, 駆動源が複数存在します。磁気圏が無衝突プラズマであるのに比べて, 太陽表面は密度が高く流体近似が適当で, コロナに至っても無衝突系にはなりません。一方, 磁気圏では人工衛星で粒子の速度分布関数までわかりますが測定点は極めて限られ, 太陽はそれと逆に遠隔測定しかできませんが現象の全貌が見えます。おそらく, 太陽

フレアも磁気圏のサブストームも, 違った状況下で起こる磁気リコネクションという共通機構で理解できる, という認識を多くの人が持つに至った, というのが大きな成果であつたらうと考えます。

太陽物理学においては, フレア爆発のメカニズムと並んで, 定常的にコロナを 2 百万度に加熱するメカニズムが, 微小フレアの重畳で理解できるのか, それとも別のメカニズム (波動加熱) によるのか, が大きな問題です。2006 年に打ち上げられた「ひので」衛星は様々な波動現象を発見しましたが, 太陽表面 (光球) からコロナへ伝わるエネルギー流を正しく捉えるためには, 光球 (温度 6 千度) とコロナ (2 百万度) の間の層, 温度約 1 万度の彩層の観測が重要であることがわかってきました。光球や彩層はプラズマとはいえ電離度が 1% にも達せず, 地球でいえば電離層と対比されるような領域です。ひのでに続く Solar-C 衛星計画では, 彩層観測が中心課題となっています。彩層と電離層の比較研究の時代が到来するでしょうか。この問題設定の適否はよく考えなければなりません, 広く磁気圏物理やプラズマ物理の研究者の興味と支持を得る太陽観測衛星計画に練り上げることが重要です。



杉村 新

元神戸大学教授

専門分野 ネオテクトニクス、島弧変動学

フェローは私にとり学際賞

私は、日本地震学会(1942年入会)、日本地質学会(1947年入会)、日本第四紀学会(1956年入会)、日本火山学会(1957年入会)の、どれも伝統ある学会の会員ですが、いままでにその4つの学会から「賞」と名のつくものを、頂いたことはありません。それは、それぞれの分野：地震学・地質学・第四紀学・火山学に、貢献するような仕事をしていないからであって、そのこと自体をここで問題にしているのではないことを、お断りしておきます。そういう私が、このたび連合のフェローに推薦されたことは、それを耳にしたとたん、「これは学際賞を頂いたのだ」と強く思いました。

合同大会が開かれ始めてから現在の連合大会に至るまで、既に25回大会が開催されています。私は最初から、殆ど全部の大会に出席しています。もちろん、講演もポスター掲載も、余りしていません。しかし、大会会場のどこかにいないと、私が落ち着かなかったのは、確かです。それは、私の学友に会えるからです。みんな分野が違うので、別に開かれる(秋などの)各学会の会場では、一度にすまることができないのです。私が皆出席だということを、どなたかが登録簿を調べていて、今回の推薦の参考にしたのかな、とさえ思うほど、必ず出ていました。

初期の頃の合同大会の時、地球電磁気学の乙藤洋一郎さんが、「杉村さん向けの学会ができましたね」と言いました。まさにその通りです。それで今回のフェロー表彰は最初「乙藤賞」だと思いました。しかし、このたとえは一般には判りにくいので、この「受賞記念の挨拶」では「学際賞」に改めました。

私が学際的なことを始めたのは、旧制静岡高校での恩師望月勝海先生の教えに端を発します。先生は5本の指を広げて見せ、「学問の指はどんどん先へ伸びているが、指の間をやる人がいない」と言いました。研究の分業化の傾向が進む陰で、眠っている課題が残されている、と言いたかったのでしょう。私は、それで眠っている課題に挑戦しました。しかし、それは余り容易ではありませんでした。何よりも人に理解されないという苦しみがありました。先生は、「間をやる人がいない」と言っただけで、

それは容易だよとか、誰にでもできるよとか、は一言も言いませんでした。私は若輩だったから、そこまでは考えずに、地質学科にいくせに、地球物理学や自然地理学を勉強したり、同じ地質学科の中でも、地質学部の研究室にいるのに、岩石学の勉強をしたり、随分勝手に、よその分野をかじりました(後述)。なお、「境界領域」という言葉もありますが、私の場合は、境界の周辺をしていたというのは当たらないと思います。どちらの領域にもまたがっていたという意味で、「学際」という言葉の方が適当と考えています。両方とも知っていないとできないことだと思います。「国際」の場合も似たようなことがいえるでしょう。

このように私は、大学に勤めていて、国から給料をもらっていたにもかかわらず、社会に貢献するような仕事をしようとしなくて、本質的にはほぼアマチュアとして暮らしていたといえるかもしれません(杉村新、「プロである前にアマであれ」、科学、71, 607-608, 2001.)。けれども、H. キャヴェンディッシュのような、徹底したアマチュアは、得られた成果を発表しませんが、私は日本語でならかなり発表しています。これでかろうじて、プロの仲間に入れてもらえるのではないかと、考えています。もしそれがなければ、今回のような「賞」は頂けなかつただろうと思います。実は私には国際誌に載せた英文論文がほとんどなく、私をフェローに推薦して下さった方は、お困りだったと思います。

学問の指の間をかじった跡を、公刊した私の著書で振り返ってみます。地質学の分野(具体的には、大塚弥之助先生の研究室に始まった)では、「地質図の書き方と読み方」(藤田和夫ほか、1955、古今書院)を書きました。地球物理学を、かじった例では、「弧状列島」(上田誠也・杉村新、1970、岩波書店)。この本の地質学の部分は、上田が原稿を書き、地球物理学の部分は、杉村が書きました。自然地理学、特に地形学では、「新編日本地形論」(吉川虎雄ほか、1973、東大出版会)で、かなりの部分を担当執筆しました。そして、岩石学(や地球化学)をかじった1つの現れとして「グローバルテクトニクス」(1987、東大出版会)の第4～6章は「岩石学の教科書

を見る思いがある」と、岩石学者である諏訪兼位さんが書いています。*

私の著書を並べたついでに、私の著書として、どうしても抜かすことのできない本を挙げておきます。それは「大地の動きをさぐる」(1973、岩波科学の本)です。この本は発行元の分類としては児童書に含まれていますが、私が研究人生の大部分を捧げた、ネオテクトニクス(現在及び第四紀における地殻変動を明らかにしようとする分野)について、当時の目線で解説しながら、私及び周辺の人たちの研究の「歩み」を述べたものです。これは、ネオテクトニクスを志す人だけでなく、広く自然科学の研究を目指す人に、その「道」を暗示している役割を果たしていると感じています。難しい数学や覚えきれない博物的知識など、予備的な勉強をしていなくても、大地の動きをさぐるために結構原始的な方法で、研究の第一線の仕事をしている有様が伝わり、その「わくわく」を感じることができる本です。

つい拙著の宣伝に流れてしまいました。今回フェローの称号(「学際賞」)が、私が受けたことは、学際的な問題を追及しておられる、ほかのかたがた、あるいは、これから学際挑戦してみようとする、若い人たちにとって、少しでも励ましの一助になれば、幸いと思っています。

追記：上記*は、諏訪兼位、2015「地球科学の開拓者たち」岩波書店のことです。そのp.198の初稿にこの文章がありました。印刷されたときは割愛されていました。

追記2：伊豆衝突の指摘(1972)は、まさに学際的だった。



高木 章雄

東北大学名誉教授，地震予知総合研究振興会会長

専門分野 地震学

日本地球惑星科学連合 フェロー記

本年(2014)4月中旬、日本地球惑星科学連合事務局から私に関する同連合のフェローに就いての問い合わせがありました。予備知識も無く、又、高齢が故に一瞬戸惑いましたが、受賞の理由が「観測地震学」との記事を見、暫し来し方に思いを馳せました。戦後、学生時代から地震発生の場に深く関わる地殻構造に就いて詳しく調べる爆破地震動研究グループに属し、更に地震活動の時空間分布の研究等を中心とする微小地震観測研究グループに参加、そして昭和40年(1965)から実施された地震予知研究計画に直接関わり定年を迎えました。この長い期間、同じ志を持った先輩を始め同輩、後輩の方々と苦しさや喜びを共にした越し方が走馬灯のように目に浮かび、思わず「観測地震学」と眩しました。長い期間こつこつと歩んできた地震予知研究への道は最も秀れた、最も新しい考え方、観測・技術で現場調査を行えば、必ず新しい発見が生まれるというもの地震予知研究計画の内容と心そのものです。余生ある限り、この考えを若い研究者に伝えることを使命として喜んでフェローをお受けいたしました。

尚、本年は、地震予知研究計画が実施されて50年目に当たる節目の年でもあり、かつ悲願であった海底地震観測データが近い将来、筑波の(独)防災科学技術研究所にリアルタイムで送信されると聞いています。まさに観測地震学の年と言えましょう。先に述べた様に昭和25年、石淵ダム砕石用爆破(ダイナマイト57t音発)に伴う人工地震波観測に私自身学生の身で参加しましたが、従来型の地震計に比べて片手で持ち運びできる小型地震計、早速その開発の歴史をお伺いしました。昭和20年前後の事と思います。ある日、松沢武雄先生(当時東京大学教授)が同研究室で「もっと小さな地震が起こっているのでは?」と眩かれました。そこに居合わせた若き日の浅田敏先生(後に東京大学教授)の胸に強く響き、小型電磁式地震計の開発に結びついたと言うお話でした。そして昭和23年(1948)福井地震の発生に伴い、浅田敏先生は同僚の鈴木次郎先生(後に東北大学教授)とお二人で余震観測を実施、見事に世界で初めて微小な自然地震を観測、特筆す

べき大発見だと思います。特に、可動コイル型単周期速度地震計はその感度については充分性能を有しているため、微小地震観測の評価はひとえにその設置場所のノイズレベルにより決められましたから観測点選定の重要さが強く認識されました。爆破地震動研究グループは、全員で観測、記録読み取り、初動波形の議論そして解析は順番という切磋琢磨的の運営で私自身各大学や研究機関に多くの知己を得、更に、記録読み取り報告会には松沢武雄先生がご出席になり、私達と一緒に記録紙に顔をすれすれに「周期の長い波が先行しているようだね」等とご指摘され一緒に初動について議論される等、素晴らしい研究環境を経験してきました。こうして育てられた若人は、後に「微小地震研究グループ」を作る中核となりました。昭和40年(1965)地震予知研究計画が発足、微小地震研究グループはその中核となりプレートテクトニクス論に基づく地震科学の研究を進めることになりました。この計画は昭和37年(1962)地震予知計画研究グループが取り纏めた提言「地震予知 現状とその推進計画」に基づいたものです。この時のグループ代表者は、初代気象庁長官を勤められました和達清夫先生、坪井忠二先生(当時東京大学教授)、萩原尊禮先生(当時東京大学教授)でした。和達先生は長く気象庁に勤務されて居られましたから、気象現象と地震現象は繰り返しの時間差がかなり違いますが、繰り返す現象とお考え、坪井先生は50年、いや100年かかるかも知れないというお考えであり、萩原先生は現状認識のお立場から一に観測、二に観測とのお発言から、地震予知という言葉がいかに幅広く考えられていたかが理解できます。

8年前のことです。予知計画発足以来、観測点維持やデータ解析等に長年努力してきた技術系職員から定年の近い事を知らされて、当時の苦勞を偲ぶと共に研究の一端を担って40年余の功績を讃えるため、最近の研究成果として日本海溝を中心にその外側(海側)、内側(陸側)に海溝にほぼ平行に幅約8kmの地震鉛直断面図を作り、1)宮古沖、2)宮城県沖、3)福島-茨城県沖それぞれの三次元地震活動の特徴とその解釈について説明しました。太平洋プレ-

トが日本海溝に沈み込む際、その外側に生じた正断層による地溝、地壘の作る凹地に、a)海溝の外側の場合では海洋プレートから崩れ落ちた海洋起源の物質が、b)海溝の内側の場合は東北日本弧で上盤プレートから崩れ落ちた大陸起源の物質や下盤プレートの太平洋プレートから崩れ落ちた海洋起源の物質が落ち込み、二つのプレート間に不規則な境界層を作っていると考えられています。この不規則な境界層を平滑化して海洋プレートが沈み込みを続けているものと思われまふ。この平滑化が地震活動の推移に直接結びつき、その解析が予知研究の基本であると考えております。地震の研究には大きく分けて二つの難点があります。その一つは医学の内視鏡の様な観測は震源域が高温、高圧のため不可能です。又、破壊現象ですからその発生時刻に就いての正確さは期待できません。しかし地震災害軽減のための精度をあげることは充分可能です。その二はその繰り返し時間が極めて長いことです。これらの隘路を克服するためには沈み込み海域の地震発生に関する全体像を把握すること、活断層の時間軸を考え、それに関連する地質学、地形変動学、GPS等地殻変動学、地震学等の学際的研究が必要となりまふ。幸いに地震予知研究が長く続けられ、且つ、阪神・淡路大震災(1995)後には全国的観測網の展開が認められ、又、東日本大震災(2011)後、海底諸観測を導入されることになりました。世界第一級の観測研究組織だと思います。地震災害の殆どは陸域を除き沈み込み帯で発生していますから、世界の研究者と一緒に研究を進める組織を作り、世界人類の地震災害軽減に役立つ国際貢献に邁進する時が来たと思っております。



谷 誠

京都大学教授

専門分野 森林水文学, 山地流域の水循環解明, 降雨流出応答予測

水文学からみた夢のロードマップ —相互作用と観測研究の同時進行—

このたびのフェロー受賞にあたり、関係各位に厚くお礼申し上げます。水文学は、応用的な要素が強いためか、高校・大学の地学で学ぶことは少ないですが、AGU・EGUと同様、JpGUでも多数のセッションが開かれるようになりました。碩学多数がご活躍の中、誠に身に余る光栄に存じます。

さて、地球科学は、地球圏だけでなく、生物圏・人間圏にもかかわり、学術会議の第1～第3部全体にまたがるMultidisciplinaryな本質を持っています。人間圏は生物圏に、生物圏は地球圏に包含される入れ子構造をしていますが、地球上のあらゆる現象のベースには、各圏の相互作用が通奏低音として流れていると言えるでしょう。この相互作用は、食料を初めとする生活資材の持続的利用を保証し、環境劣化・自然災害の抑制にも重要な役割を担っています。森林水文学を学ぶ私は、地殻変動帯の急斜面における水・土の移動速度のはげ山と森林との違い、あるいは、安定大陸の湿潤気候維持における森林からのコンスタントな水蒸気供給の役割を通じて、水文諸過程の動的平衡維持における生物圏の役割、人間活動の影響の波及について考えてきました (Tani: Hydrol. Earth Syst. Sci., 2013; 谷: 蔵治・保屋野編「緑のダム科学」, 所収, 2014)。

進行中の気候変動に関しても、各圏相互作用の動的平衡の概念は重要で、大気中のCO₂濃度が海陸生態系の光合成と呼吸の収支によって維持されている状態を出発点とし、人間活動によってより高濃度の動的平衡へシフトしてゆく遷移過程だと捉えることができます。一般に、複雑な相互作用は、多様な時間スケールにおける動的平衡の入れ子構造の組み合わせでできており、例えば、氷河期・間氷期の交替のような長いスケールの動的平衡は、短いスケールでは温暖化か寒冷化かへのシフト変化として表される一方、平年値の周りのごく短期の気象変動は、長期では平年値ごと大きくシフトします。現在の環境問題は、人間の排出する負荷が各圏の多様な時間スケールの相互作用に波及してゆき、それが人間社会にフィードバックされることから生じていると言えるでしょう。

続いて、これらの複雑な相互作用の把握

手法について考えます。現在、観測専門組織によって継続されているのは各圏の相互作用ではなく、その作用の結果としての気象量や河川流量などの水文学量であることを、まず指摘したいと思います。相互作用そのものは、サイエンスで解明されるべき対象と位置付けられているわけです。ところが、図1のように、相互作用に関する知見は、プロセス理解、モデル予測、観測検証という時間経過を経てはじめて定まってくるはずで、現在の「専門組織が観測精度向上を担い、学界が予測研究を担う」という分業体制では、たとえ両者の協力があっても、将来予測論文の生産というサイエンス側からの精度向上要請を受けて観測装置や手法の改善を図るという「お釈迦様の手のひら」にとどまり、相互作用の変化予測を観測で検証するというサイクルによって社会に貢献することができません。

私は、少数のサイトで相互作用の組織的継続観測が、観測精度の向上と同様に、正當に認知されなければならないと思います。実際、樹木成長と、豪雨や無降雨乾燥の極端事象を含む気候変動とが水循環に及ぼす影響を分離評価するには、水文観測と植生変化調査とが結合した70年間の組織的継続観測が必要でした (谷・細田: 水文・水資源学会誌, 2012)。一方、生態系・大気間のガス交換プロセスはようやく数年の観測結果が得られましたが (Kosugi *et al.*, J. For. Res., 2011)、こうした短期の研究では、大気中CO₂濃度の増加に対する生態系変動の気候へのフィードバック影響を追いかけ、検証することはできません。交換プロセスが気候変動と生物活動の相互作用なので、生態系内部の物質循環と大気との交換プロセスに関する総合的な観測が長期

継続されなければならないからです。

上述の樹木成長の影響研究では、森林総合研究所の1937年から現在に至る組織的継続観測が鍵となりました。身内・外野から「いつまで続けるつもりか?」の圧迫に耐えての継続に感謝するばかりです。森林・大気間のガス交換については、測器や補正に関する苦闘を経てスタートした観測はせいぜい十数年で、スタートしたばかりです。多様な時間スケールを持つ各圏の相互作用がシフトしてゆく長期の変化を把握して、Future Earthに資するためには、22世紀に向けたとぎれない観測が要求されます。私は、こうした相互作用の観測は、相互作用の結果に過ぎない気象・水文学量を観測している国土交通省 (気象庁を含む) とは別に、生物資源の利用と環境保全の両立を担う農林水産省の責務であり、大学農学部が人材教育の面でこれを支えるべきだと考えます。生態系試験地での充実した組織的観測が今世紀末にも継続していて開始100周年を祝うこと、これが水文学を含む地球科学の「夢のロードマップ」だと信じております。

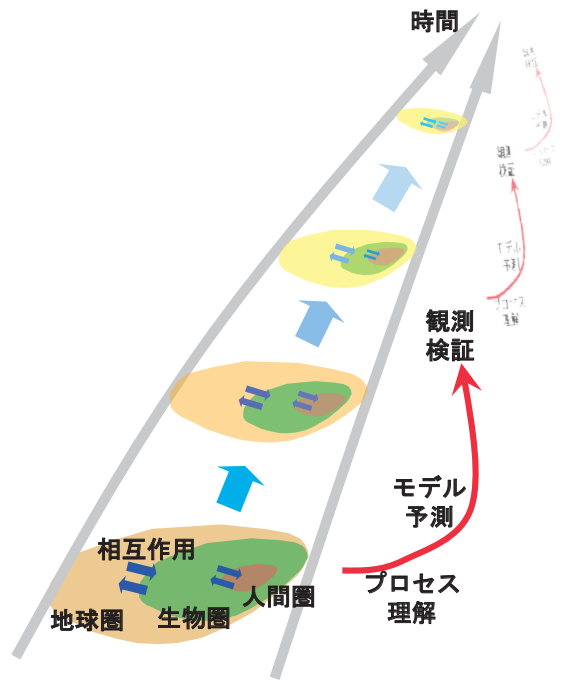


図1. 地球圏・生物圏・人間圏の相互作用が時間変動しており、それを扱う研究におけるプロセス理解・モデル予測・観測検証の流れが同時に進行することを表す概念図



田村 俊和

東北大学名誉教授, 元立正大学教授

専門分野 地形学, 第四紀環境変遷, 陸域環境管理

趣味と好奇心と使命感の間で —研究のモチベーション

2014年もまた、地形という環境資源の利用・誤用に関わる災害が相次ぎ、造成された住宅地の被災例も少なくない。私の受賞理由にある「第四紀環境学、とくに都市近郊丘陵地での災害発生メカニズム解明」という研究課題も、そのような状況との関連でとらえられることが多いのではなからうか。住宅地開発のための丘陵地形の大規模人工改変は、日本では1960年頃から急に盛んになり、造成された住宅地で斜面崩壊等も発生し目につき始めていた。私はそのようなすを横目で見ながら、60年代の半ばに仙台近郊に広がる丘陵地で地形学に首を突っ込んだ。野山を歩きまわるのが嫌いでなかったこと以外、たいした理由はない。

日本の丘陵地の大半は、新第三紀～前期更新世の半固結堆積岩類、ところによっては火山岩や風化した深成岩等を基岩に、中期更新世の堆積物を載せていることもある高さのよそろった稜線と、複雑な斜面から成る。私は、周囲で行われていた段丘地形研究の見よう見まねで、高さのそろった稜線の原形となった地形面の形成を中心に、第四紀地形発達史の視点から卒論をまとめたが、それでは丘陵地の過半を占める斜面は議論の対象になり得ず、地形学図にも空白のまま残っていた。斜面の位置や形態は崩壊の発生とも密接に関連するので、たとえば国土地理院の土地条件図では1960年代中ごろから分類・図示されていたが、そこでの斜面の分類は、地形発達史への位置づけを意識したものではなかった。

そうするには斜面の各部分の形成年代を知る必要があるので、日本各地で段丘面の対比・編年に多用されるようになっていたテフクロロジーを斜面にも適用できないかと考えた。オーストラリアでのKサイクルの議論からもヒントを得て、テフラ層の乱れや途切れに注目し、きれいなテフラ層序を追求する人には邪道と思われるような露頭を探し歩いた。この方法で、斜面ができた、あるいは斜面に沿って物質移動が起こった時期を論じることは、手頃な傾斜の斜面が卓越し、手頃な厚さ・枚数のテフラがあるところでは比較的うまくいくことがわかった。

斜面の形成プロセスを明らかにし、その

空間的広がりを知るには、災害時にまたは実験で地表面の動きをとらえ、その後も残る形態・構成物質の特徴と関連づけるのが有効だ。1968年十勝沖地震が誘発した斜面崩壊を対象に、斜面の位置・形状とその変化および表層物質の層相・層序をかなり細かく調査でき、それらと運動様式との関連について、自分なりに納得のいく知見を得た。降雨—浸透—流出（ないし崩壊発生）と土壌層位および地形との関係については、欧米で出始めた土壌水文学・斜面水文学の文献を読み、手近な丘陵地の谷頭部などで対照して、理解しようとした。斜面形の特徴および異種の斜面の接し方を表現するのに、空中写真や等高線図だけでは不便と感じていたところ、英国で高校生(?)の野外観察指導用に考案されたmorphological mappingを土壌調査での地形の記載等に使っているのをみつけ、一部改変して用いた。地形・土壌・水文・植生等の空間的相互関係をとらえるカテナの考え方も役に立った。こうして、斜面の位置・形状や土壌断面形態を斜面形成プロセスと関連づけた微地形分類単位を、認定・表現する見通しがついた。

これらの知見・手法をうまく組みあわせて適用すれば、複雑な丘陵地形の稜線も斜面も谷も、現象のスケールごとに、位置や形態の特徴、それを構成する物質、その形成プロセスと形成時期が第四紀の環境変遷と関連づけて議論でき、図示できることになるはずだった。そういうとき(1970年)に別の大学の助手に採用され、都市地域の自然災害に関する研究に飛び込んだ。そこでの主な関心は水害・地盤沈下から地震災害に移りつつあり、低地や台地が対象になることが多かった。その間、私が目をつけていた丘陵地の地形は、折からの高度経済成長・市街地拡大でどんどん壊され、人工地形に置き換えられていった。

それら人工地形も自然の斜面に準じた見方でうまく扱えれば、丘陵地形研究の幅を広げ、地形的位置や地形改変様式の選定を介して防災にも寄与できると考えた。いくつかの地震災害の調査に参加する傍ら、一人で丘陵地への住宅用地開発の集中状況を調べ、それを促した自然的・社会経済的要因、さらには建設機械・工法の変遷を整理

して、大規模地形改変を日本列島の地形発達史および人為が絡んだ第四紀環境変遷史に位置づけようとした。一方で人工地形を分類し、その危険度についても考え始めていた。そのタイミングで1978年宮城県沖地震に出会った。地形的位置や斜面形、地形改変の様式・施工法に密接に関連した多様な被害事例を目のあたりにして、被災者には申し訳ないと思いつつ、考えていたことの一部を実証し、また改良することができた。その後の展開については、ここでは省略する。

受賞理由の「災害発生メカニズム解明」に「第四紀環境」「丘陵地」という語がついているのは、上に示したように防災をとくに意識しない研究にも関わり、紆余曲折して進めてきた仕事それがそれなりに評価されたものと、一人合点かもしれないが納得している。斜面の地形や表層物質を、ときに植生、ときには動物や人為的作用とも関連づけ、層位的に細かくみることは、熱帯各地での環境変遷の研究にも有効だった。国内では植生の立地や緑地環境保全の検討にも活用されようとしている。また、「水流の発生」という、湿润温帯の陸域における侵食地形形成の根本問題に迫るのに役立ちそうという予感もある。

科学の一端に携わる者として、その時どきの「社会の要請」に（その是非を判断して）応えようとするのは当然で、私も多少の寄与をしてきたつもりだ。昨今の被害発生状況を見ても、立地計画段階で地形資源の多様性・規則性にもっと注目してより効果的な防災を図るよう、さらに訴える必要がある。しかし、個々の研究は、そのような使命感だけで進むものでもなさそう。大小の研究プロジェクトとの関わりや、研究テーマへの陽のあたり方・かげり方については、また別の機会に述べたい。



鎮西 清高

京都大学名誉教授, 大阪学院大学名誉教授

専門分野 古生物学, 古生態学

若者の理科離れに自然史教育を

若者の理科離れが問題になって久しい。国際的な学力調査で、日本の児童・生徒の国別順位が下がった、また下がったと騒がれている。だが小学校低学年ではいつの調査でも理科が大好きという児童が50%前後もいるのである。問題はその比率が高学年になるほど低くなることである。学年が進行するとともに理科好きが減り、嫌いが増えていくということからみて、理科教育の方法や内容に問題があると思うのは自然であろう。

今は、様々なレベルにおける競争に勝つためであろうか、自然に興味を抱く以前に多くの知識を詰めこんで、難しい仕組みを覚えさせ、科学は一般化するのが目的だばかり、急いで何でも一般化させようとしているように見える。小学生に自然界で起こっている事象を示し、仮説を立てよ、実験をしてみよ、一般化せよあるいは他の事象と比較してみよ、は、いくらなんでも無理な要求だろう。こうして若者の理科嫌いを招いているのではないか。

これを是正し理科は面白いというイメージを復活させるには、自然と接する機会の多い自然史の教育から始めるのがよいと思う。現在、科学・技術方面の仕事に就いている人の多くが、小学校時代に昆虫少年だったり、化石のコレクターだったり、あるいはまた模型の組み立てに夢中になったりした経験を持つという。自然史は、自然に接したときだれしもが抱くであろう疑問や関心、たとえばある生物がなんであるか、名前は何か、に始まり、どんな生活をしているか、何故そんな行動をするか、など、人が持つ素朴な疑問に答えようとする。

自然史というと博物という言葉を連想し、なにか古臭く、記述的・羅列的であるかのように思われがちだが、現代の自然史研究は、計画的な観察や巧みな実験・解析手段を用い、他分野と同様に仮説-演繹的な方法論によって自然の機構や体系を迫及している。そして現段階で最も妥当と思われる説明、原因から結果までのストーリー性のある説明を提出する。このストーリー性のゆえにその成果は人々に理解され、興味や感動を呼んでいるのだと思う。そして理科少年はこのようなかから生まれてきた。

もとより理科離れの問題の根は深く、多様な原因が複合しているに違いないので、自然史教育によってすべて解決すると主張するものではない。だが若い人たちの理科嫌いを解消するには、迂遠なようでも昔のように自然に接する、あるいは自然の実物

に接する時間をもっと増やすほかないと思う。学校の周囲に好適なフィールドがなければ教室に置かれた水槽や飼育箱の中でもよい。工夫して自然に接する機会を増し、そこから生まれてくる感動やすなおな疑問を多くするべきである。



あの情熱はどこに行ってしまうのだろう
神奈川県立生命の星・地球博物館の野外見学会で



中澤 高清

東北大学名誉教授，東北大学客員教授

専門分野 気象学，物質循環学

温室効果気体の循環を研究して

大気中の温室効果気体が人間活動によって急速に増加しており，近い将来の気候が大きく変化すると懸念されています。この問題に的確に対応するためには，原因となっている温室効果気体の発生から消滅までの過程（循環）を定量的に解明することが重要です。

代表的な温室効果気体である二酸化炭素（CO₂）は，1754年にイギリスのJoseph Blackによって発見されています。その大気中濃度の測定は既に18世紀末には化学的手法を用いて試みられていましたが，近代的な計測技術を駆使した高精度の系統的観測は，1950年代末にアメリカのCharles Keelingによって南極点とハワイ・マウナロア山で開始されました。また，CO₂に次いで重要な温室効果気体であるメタン（CH₄）と一酸化二窒素（N₂O）は，太陽を光源とした大気スペクトル観測から1948年と1938年にそれぞれ発見され，それらの大気中濃度の系統的観測は1980年代に入って本格的に始められました。また，濃度観測の開始とともに，簡単なモデルなどを用いた初期的な循環解析も行われました。このようにして始まった温室効果気体循環の研究は，温暖化問題が国際的に大きな関心事となった1990年代に活発化し，今日では世界の多くの研究者がこの課題に取り組んでいます。

私は大学院の頃には気体の光吸収特性に関する研究を行っていましたが，所属していた東北大学の気象学講座に職を得た際に，気象学により密接した課題に取り組むべくCO₂の循環に関する研究に着手しました。その後，CH₄やN₂Oなど他の温室効果気体にも研究を拡大しました。温室効果気体の地球規模循環を解明するための基本的手法としては，観測やプロセスモデルなどから推定されたフラックスを時間的・空間的に積み上げるボトムアップ法と，大気中の濃度や同位体比を詳細に観測し，その結果をモデルなどで解析するトップダウン法が考えられます。ボトムアップ法は循環プロセスの理解にとっては有効ですが，地球規模の循環を定量的に解明するためには多くの地点で長年にわたって多種目の観測を行う，あるいは各種のモデルを構築する必要がありますが，大学の一研究室では対応が困

難です。そこで私は，広域にわたる観測を必要としますが，比較的短い時間で結果が得られるトップダウン法を採用することに決め，まず大気中濃度を高精度で測定する技術の確立に着手しました。研究を開始した1970年代半ば過ぎは，温暖化問題への社会の関心はまだ低く，国内には大気中の温室効果気体を高精度で測定する技術がない状態でしたので，計測器メーカーやガスメーカーの協力を得ながら技術開発を行いました。このような計測技術の開発はその後も継続し，循環の解明に不可欠な各種の同位体比や関連要素の高精度測定を可能にしました。

次に地球規模にわたる濃度や同位体比，関連要素の変動を明らかにすべく，開発した計測技術を駆使して日本国内や南極，北極，中国，カナダなどで地上観測を行うと同時に，機動性に富んだプラットフォームを利用した観測を広域にわたって展開しました。すなわち，商船を利用して日本—オセアニア間や日本—北米間，日本—中米間の太平洋上で船舶観測を，民間定期旅客機やチャーター機を利用して日本上空，日本—北米間，日本—オーストラリア間，南極，アラスカ，シベリアで航空機観測を，大気球を用いて日本やスカンジナビア半島，南極，赤道太平洋で成層圏観測を行いました。また，南極やグリーンランドで掘削した氷床コアの分析を行い，数十年前から70万年前におよぶ温室効果気体の変動を復元し，その原因を循環や気候の観点から検討・考察しました。さらに，巨大な炭素の貯蔵庫である海洋によるCO₂吸収を明らかにするために，大気—海洋間のCO₂交換に関する観測を太平洋，インド洋，南大洋，北極海などで実施しました。これらの観測的研究に加え，温室効果気体の地球規模循環を扱う数値モデルを開発し，観測から得られた濃度や同位体比，関連要素の変動を解析することにより，変動を支配するプロセスやメカニズムを明らかにするとともに，発生・消滅フラックスの時空間変動を推定しました。

以上のような研究をこれまで行ってきましたが，研究を始めた頃には，全球にわたる大気観測を10年くらい行い，その結果をモデルで解析することによって循環に関

する知識はかなり得られるだろうと楽観的に考えていました。しかし，研究を進めるに従って地球の広大さと関与するプロセスの複雑さに悩まされ，また興味を引かれる新たな課題が次々と現れたため，それらに対応してより定量的な理解を求めているうちに40年近くの時間が経ちました。研究に着手した頃と比べますと，多くの研究者の努力によって循環の理解は確かに大きく進展しました。わが国におきましても，特に1990年代以降に多くの研究機関で特徴のある観測やモデル解析が活発に行われ，その成果は国際的に高く評価されています。しかし，手法によって，あるいは同一の手法であっても研究によって結果が大きく異なるといったことが依然として見られます。さらに，気候が変化すると循環がそれに応答し，その影響が気候におよぶと考えられますが，両者の相互作用についての理解も不十分です。今後，多岐にわたる観測をさらに展開し，循環の解明に利用できるデータを充実させるとともに，循環を取り扱うモデルの高度化とそれらを用いた定量解析を一層進める必要があります。このような困難な課題を解決するためには若い力が不可欠であり，わが国の研究者がその役割を担って多大な貢献を果たされることを大いに期待しております。

最後になりましたが，温室効果気体の循環に関する広範な研究を今日まで継続して実施することができたのは，諸先輩のご指導と，優秀な元学生諸氏や国内外の共同研究者との連携・協力の賜物であり，ここに深く感謝申し上げます。また，「研究のためなら」と寛大な心で長期にわたってご協力下さった多くの会社に深甚なる謝意を表します。



中沢 弘基

元東北大学教授，物質材料研究機構名誉フェロー

専門分野 鉱物学，地球物質科学，生命起源科学

生命誕生：地球惑星科学と 先端医学・生物学との学際領域

どこの大学でも、50年前頃の学生や大学院生は生意気でした。講義を聴くより自学自習、日本の科学の一端を担って未来を支えているのは我々だ、と自負していました。そんな生意気な“若手”を鍛えたのは、気象、地磁気、地震、地質、鉱物などの小さな専門学会です。学会の前方に席を占めたボス達が、出る釘を叩いて専門家を育てました。

筆者も、大学とメーカーが共同で模索していた時代の“国産”電子計算機で、オバールのX線回折プロファイルをフーリエ解析した、自学自習の成果を引っ提げて初めて学会に登壇し、その後鉱物学や結晶学らしい研究を続ける中で鍛えられて、専門家の中に入れて貰えました。かつて自学自習で読んだ“青春の書”は、研究者人生の終わり頃になって、生命起源にかかわる研究を始める原因になりました。それからすでに20余年、到達点を次世代に伝えるべく、昨春一書を世に問いました(1)。

国立研究所から大学に転職して、青春真っ只中の若い学徒を指導しつつ、一緒に研究する中で得た実験結果が同書の仮説や論理の正当性を裏付けています。退役した“青春の書”が、“現役の青春”と干渉して得た成果です。

同書は新進の脳研究者によって、「脳髄を金槌で殴られた気分になりながら読んだ」とか、「世間の常識がオセロの石のように裏返る」と評されていますが(2)、そんな同書の新規性は、生命起源を地球惑星科学の立場で論じたところにあります。詳細は同書に譲りますが、生命が発生したのも、進化したのも、固体地球が複雑化したのも、地球冷却に伴うエントロピーの低減による“物理的・地球史的必然”であると考えるのです。物理化学で馴染みの熱力学で、地球や生物の進化を見直したのです。この大局観に立つと、生命誕生はH、C、N、Oなど地球の軽元素の分子が、流動する地球環境の中で複雑化しながら、“適者生存”した結果であると理解できます。

“生命”を対象とする研究分野はもちろん医学や生物学ですが、その“起源”の研究は地球惑星科学の範疇です。個々の生物ではなく、“生命”が発生して進化するのは、全地球46億年の時空の現象だからです。

生命の発生と進化の必然性が地球エントロピーの低減にあるなら、地球史のさまざまな事件によって地球軽元素の分子が自然選択される過程が、すなわち生命発生にいたるプロセスです。無機界の地球に多量の有機分子が生成された“有機分子のビッグバン”や、さまざまな有機分子の中で、アミノ酸や核酸塩基など水溶性で粘土鉱物親和的な“生物有機分子”だけが自然選択された過程、さらには堆積層の続成作用でタンパク質や核酸など高分子が生成した過程などは、地球史の事実から合理的に説明できて、かつ実験によって実証もできます。

“鶏卵論争”として知られている、「RNAを造るのに必要な酵素(タンパク質)が先か、そのタンパク質のアミノ酸配列を決めるRNAが先か」の問題も、“生命前駆体”が分解しないためには、エントロピー代謝を担う“タンパク質様”物質の存在が先である、と明瞭に答えられます。生命起源シナリオのうち、この辺までは地球惑星科学の論理で推定され、実験によって実証できます。

しかし、“生命前駆体”と言うべき小胞ができて、相互に合体・融合して自己複製機能など、生物らしい機能を徐々に進化させて行く過程については、地球惑星科学の知識や論理だけでは推定することができません。生命誕生に近づくに当たって、細胞内の複雑な仕組みについて、生物・医学の専門知識が必要だからです。

圧力、温度、pH等々、いかなる地質現象の、いかなる環境に生命前駆体(小胞)が晒されて、いかなる機能を持ったものがサバイバルしたか? セントラル・ドグマ(DNA → mRNA → タンパク質)と言われる効率のいい自己複製機能に至るまで、どんな自然選択を経たのか、生命誕生の最後の瞬間については、遺伝子操作の分子生物学や人工細胞の先端医学などの知恵がなければ理解できません。正否はともかく、「弱酸性溶液で“刺激”すれば、多機能性幹細胞ができる」という人工幹細胞の発想は、見方を変えれば、「弱酸性の環境で“自然選択させる”」模擬実験とも言えます。卵子と精子が合体する“受精”は、ヘッケルの反復説を拡大して、“生命前駆体”の合体・融合の過程を反映しているとも解され

ます。

したがって、どんな地質現象の、どんな条件で、どんな機能を有する“生命前駆体”が自然選択されたか、生命誕生のシナリオの最後の章は、生物・医学と地球科学の学際研究によらなければ明らかにならないでしょう。生命の発生や進化の研究にとって、両者の学際研究は絶対的に必要だと強調する所以です。

本稿を執筆中に、電波望遠鏡で宇宙のガス雲にメチルアミンが検出され、「宇宙にも生命の期待」と国立天文台が発表しました。しかし、それが例えばアミノ酸であっても、生命の素材と“同種の分子”がそこにあってただで、「宇宙にも生命」と言える根拠は何もありません。宇宙には、アミノ酸の素材と“同種”の水素や炭素があることと同意です。他の天体に有機分子が見つかるのも同じです。何かが“あれば”、どこでも自然に生命ができるほど、生命誕生のメカニズムは単純ではありません。「…があれば」すなわち生命が発生すると短絡するのは、「生命は神が創った」と言うに等しい非科学です。著名なRNAワールド説や、タンパク質ワールド説なども、「どちらかがあれば」すなわち生命発生と短絡する点で同類です。いわんやエンセラダスや火星に水や水の痕跡が見つかっただけで、生物がいる(いた)“かも知れない”と考えるのは科学の域外です。「…があれば」、「…かも知れない」は科学の論理ではないからです。

物理や地球史の必然性に基ついた、科学的な生命発生メカニズムの解明のためには、地球惑星科学を中心とした人工細胞の先端医学や分子生物学との学際研究が必要である、と最後に重ねて強調します。

- (1) 中沢弘基「生命誕生，地球史から読み解く新しい生命像」講談社現代新書(2014)
- (2) 池谷裕二，読売新聞2014年6月8日版



中田 高

広島大学名誉教授・元広島工業大学教授

専門分野 変動地形学, 特に活断層研究

たかが地形, されど地形

この度、2014年日本地球惑星科学連合フェローを並みいる諸先学とともに受賞し、誠に恐縮している。とりわけ、「変動地形学の名付け親」である杉村 新先生、「日本の活断層研究の父」である松田時彦先生と一緒にこの栄に浴することは身に余るものであり、戸惑いすら感じている。

私が専門とする地形学は地表の形態を研究対象であるが、地表を構成する物質を研究対象とする地質学などと比較して社会的認知度は極めて低い。地形は地表に働く様々な作用の集積結果であり、過去の地変を記録する物的証拠でもある。過去の大地震の多くは同じ断層面に沿って繰り返し発生し、累積した変位が地表で断層変位地形を形成する。このため、活断層は変動地形学的に発見・認定されるものがほとんどである。活断層が再活動すると、断層変位地形の上に位置する構造物は破壊を免れることは出来ない。2005年にパキスタン北部で発生した大地震では、断層崖の上にあったバラコットの街が壊滅的な被害を受け、住民の80%以上が生命を奪われた(写真)。

一方、地震被害の多くは強い地震動やそれに伴う地盤破壊によって発生する。強震動を精度よく予測するためには、地震学的手法、測地学的手法に加え、地形・地質学的手法を用いてアスペリティの位置や大きさを推定すること手法が有効である。活断層は、震源断層を地表で直接観察できる唯一の物的証拠でもある。このため、活断層および地震断層の幾何学形状や変位量分布をもとに、どこに破壊開始点があり、どの方向に破壊が伝播しどこまで破壊が及ぶのか、また、断層面上ですべり量の大きな場所はどこかなどを、地震発生前に具体的に推定することが重要である。

私たちは、活断層の地表の分岐形状などの幾何学的形状や横ずれ断層の縦ずれ変位量分布をもとに、破壊開始点や破壊伝播方向を推定する手法を提案しているが、これらのモデルはあまりにも概念的であり現実の事例に適用することは困難である、という批判もある。

活断層の位置・形状は、数十万年にわたる断層活動を通して大きく変化をしておらず、地下の断層形状を反映するものである。横ずれ断層の断層面は「扱じれたリボン」

のような地下形状をしており、1995年兵庫県南部地震では、捻れた場所にあたる明石海峡付近が震源となった。逆断層型活断層は、複数の湾曲した断層線からなるものが多く、地表形状から推定される地下の「波板状」の断層面では、二つの湾曲構造が接する部分にストレスが集中し、破壊開始点となる可能性が考えられる。

地震発生源となる活断層の詳細な検討の

ために、1/25,000程度の縮尺の詳細な活断層図の作成と、それに付随する活断層の沿う変位量や平均変位速度のデータベースの整備が進められている。文部科学省地震調査研究推進本部でも、「活断層基本図(仮称)」の整備が検討されており、これによって活断層の地形情報が地震災害軽減に生かされることを期待したい。



地震前のバラコットの街並 Amir Rashid 撮影



地震によって壊滅したバラコット 中田 高撮影



西田 篤弘

宇宙科学研究所名誉教授

専門分野 宇宙空間物理学, 磁気圏物理学

ジオテイル(GEOTAIL)衛星計画と国際協力

ジオテイル衛星計画は地球磁気圏・尾部の研究を目的として、宇宙科学研究所とNASAが協力し、ほぼ同規模の予算を投入して実施した大型の国際協力プロジェクトである。

1978年頃から、地球周辺の宇宙空間に数機の衛星によるネットワークを張って磁気圏物理の研究を前進させようという気運が高まり、アメリカの研究者を中心にOPEN (Origin of Plasmas in the Earth's Neighborhood) 計画の立案が始められた。私も企画委員会のメンバーであったが、立案に参加しているうちに宇宙研も同時に科学衛星を打ち上げてこの計画に主体的な立場から参加すべきだと思うようになった。理由の一つは原案では磁気圏の主要な領域が十分にカバーされず、重要な問題を解く鍵が得られない恐れがあるということであり、もう一つは宇宙研がOPENと対等に取り組み力を獲得しつつあるということであった。ハレー彗星探査計画が走り出し、ロケット、衛星、通信等さまざまな面で飛躍的に発展しつつあった時期である。

重要な問題とは磁気圏尾部で起きる磁気リコネクションのことである。磁気リコネクションは磁場に蓄えられたエネルギーを解放してプラズマを加速するという、磁気圏ダイナミクスの要の役割を果たすメカニズムである。それにも拘らずOPENの原案にはリコネクションが爆発的に発生する地球から20ないし30 Re (Reは地球の半径)の尾部領域を観測できる衛星が含まれていなかった。そこで1980年に宇宙科学研究所の宇宙観測専門委員会のもとにOPEN-J研究班を設けていただき、実験計画を策定した。輸送系の先生方には当時開発中のM-3SIIに新規のキックモーターを加えて軌道20 Re \times 1,000 km, 軌道傾斜角0°の軌道に170 kgを投入する案をベースに、衛星重量を250 kgに増すことに向けて検討をお願いしていた。

ところが1983年初めにNASAのOPEN担当者から4機のOPEN衛星のうち1機をOPEN-Jに置き換え、スペース・シャトルで打ち上げるという提案がもたらされた。予算の縮小を求められたため1機を宇宙研で担当してほしいというのである。NASAがスペース・シャトルで打ち上

げるといふのであればロケット開発経費が節約できるだけでなく衛星を大型化することができる。磁気圏尾部観測という当初の目的に鑑みOPEN衛星のうちのGTL衛星とOPEN-Jを統合して新たな衛星計画をつくることになった。この衛星の軌道は2段階に分け、最初はGTL的な遠隔尾部観測衛星とし、その後軌道を低くしてOPEN-J的な近尾部観測を行うことで合意が得られ、ジオテイル計画が生まれたのである。計画が滑り出したばかりの1986年にChallenger事故が起き、打上がシャトルからデルタIIロケットに変更された。不測の事態であったが発足直後だったために大きな支障もなく計画を進めることができた。

ジオテイル衛星の観測項目は1. 磁場、2. 電場、3. プラズマ波動、4. プラズマ、5. 高エネルギー粒子、である。このうち、1-3については日米が合同チームを組んで担当し日本側がPIを勤め、4と5はそれぞれについて日本チームと米国チームが別個の観測機器を搭載した。データ受信は長野県臼田にある宇宙研のアンテナとNASAの深宇宙空間ネットワークのアンテナ網とを併用した。Kennedy Space Centerからの打ち上げは1992年7月24日であった。打ち上げ直後にプラズマ観測器の一つが放電によるラッチアップのために作動しなくなったが、約1年後に衛星を月の影に入れて太陽電池と蓄電池を共に切るという非常オペレーションを行って回復させることができた。すべての観測データは一定期間後国際的に公開されている。

ジオテイル衛星は14回の月スイングバイ(衛星を月に接近させ運動量を交換する技術)を含む軌道制御も計画通りに実施し、磁気圏の広範な領域で最先端の機器による観測を行って大きな成果を上げた。当初から目的とした磁気リコネクションの物理過程の解明だけでなく、静電的ソリトンの発見など期待を上回る成果も得られた。論文引用回数は一万数千回を超えている。若手が育ち、実験家と理論家との連携が進み、日本における研究の国際的な認知度と評価が高まった。宇宙空間はイオンや電子が衝突しあう頻度が非常に低い状態にあるため、宇宙空間プラズマはマクロに流体として表現することができない性格を持って

おり、個々の粒子としての振る舞いが加速や粘性などに関わっている。時間・空間分解能の高い観測によってジオテイル衛星はミクロ領域に踏み込み、宇宙プラズマ研究を一段と深いレベルに進めることができた。磁気圏でのin situ観測によって得られた知見は広く太陽や宇宙の現象解明にも生かされている。

ジオテイル計画は大型の国際協力プロジェクトであり、損害賠償請求権放棄など科学研究の域を越えた難問にも遭遇したが多くの方々から支援していただき克服することができた。この国際プロジェクトが成功した理由の第一は、日米のメンバーの間に信頼関係が育まれたことだと思う。かつて小柴昌俊先生が、国際協力が成功するための条件を列記なさったことがある。予算に関わることなどいろいろあったが、その筆頭は「お互い尊敬する間柄であること」であった。まったく同感である。経費を節約するとか技術を補完しあうとかいうだけではなく、メンバーが共通の目的を持ち、互いの力量を評価しあっているのはじめて、信頼関係で結ばれたチームが生まれ、一体となって成功を導くことができるのだ。これを実感することができたことをメンバーと共に喜びたい。

一昨年(2012年)にはジオテイル衛星打ち上げ後20周年を祝してパーティを開き、海外からも懐かしいメンバーを迎えた。20年を越えた現在も衛星は健在であり、重要な観測データを国際的に提供し続けている。



野上 道男

東京都立大学名誉教授

専門分野 自然地理学, 地形学, 気候学

タウポ大噴火と後漢書・日本書紀の記事

ニュージーランド北島のタウポ火山はC-14年代で2世紀末頃大噴火をしたことが地質学的に知られている。広域に流紋岩質のテフラを分布させただけでなく、火山ガスや塵埃は成層圏に達し、拡散して両半球(グリーンランドと南極)の氷床コアに記録されている。日本の南極観測隊によるコアとその分析結果はJGL(望月優子, 2011, vol.7, No.1)にも報告されている。成層圏にとどまった火山ガスや塵埃は太陽光を反射吸収し、対流圏の温度低下を引き起こす(例として1883年8月末のクラカタウ大噴火、ほかに535年も、影響は翌年発現)。それによる日照不足/夏季気温の低下は(特に稲作の)凶作を引き起こす。

C-14法や氷床コアの年代は幅のある推定値であるが、史書の記述は事象の対応が付けば「年」を特定できる。ここでは後漢書の異常気象に関する記事と日本書紀の飢饉米糞失調症の記事を取り上げる。後漢滅亡(220年)後の432年、宋代の范曄によって後漢書は書かれた。時代は前後するが、280年代に陳寿によって書かれた三国志を引用しているところが多い。後漢書孝靈帝紀光和4~6年(AD181~3)の条に異常気象が集中的に記録されている。これをタウポ大噴火に関わる記録と見て間違いないだろう。前後60年にわたって調べたが、ここ以外に異常気象の記事は見つからなかった。

後漢書の日付は干支で記述されている。計算簡便化のため甲子をc0, 乙丑をc1, 癸亥をc59と私は数値コード化している。光和4年(181年)の6月朔はc57で、庚辰(c16)の日、つまり6月20日に降雹(鶏卵大)の記事がある。この年の夏至(5月の中気)はc49であるので、夏至から27日後(グレゴリオ暦では7月19日ごろ)の降雹はかなり異常である(それより遅い季節の降雹記録もある)。なおタウポ大噴火があったのは埋没した木材の形成層から秋とされ、これは北半球の春である。続いて光和5年4月早(雨季の遅れ)、6年夏(太陰太陽暦で5~7月)大旱、秋に金城河(黄河上流域)氾濫、五原山土石流、冬に東海(東シナ海)、東萊(山東半島北岸)、琅邪(山東省南部)に大寒波、の記事がある。

光和7年2月に「蒼天已死 黃天當立 歲

在甲子 天下大吉」をスローガンとした黄巾の乱が起きている。甲子年は184年であり、この年には2~3年続きの異常気象は終焉したとみている。黄巾の乱(宗教指導者に率いられた農民蜂起)は、異常な気象現象(青空なし)は後漢王朝終焉の兆しであるとして、前兆どおり黄色をシンボルとする政権への交代を求めるものであった。ローマ史でもこの時代に蛮族反乱の記事が多い。なお「ローマ市で空が暗くなり昼に星が見えた」との記事は大火災によるもので、タウポ大噴火とは関係ない。

日本書紀は年代に粉飾があり、例えば応神紀では外交記事との対応から120年分ずれていることが通説となっており、残念ながら日本書紀に異常気象・凶作の記事があっても、そのままではタウポ大噴火の記録とはならない。循環論は避けなければならないが、後述するように、逆に日本書紀に世界共通の実年代を与えることが可能となる。

日本書紀で宣化元年(536年)に異常気象・飢饉の記事がある。天皇の言葉として「食は天下の本なり。黄金万貫ありとも、飢を療すべからず。白玉千箱ありとも、何ぞ能く、冷を救はむ」(読み下し文は岩波文庫本)とあり、屯倉(官営倉庫)の穀物を移動して(飢饉)対策を取れと指示が出されている。この時代の日本書紀記事の西暦対応には問題はない。

異常気象・飢饉に注目して時代をさかのぼると、崇神5・6年の記事として「五年国内多疾疫、民有死亡者、且大半矣。六年百姓流離、或有背反、其勢難以德治之」がある。そして崇神7年の記事では「疫病始めてやみて、国内ようやくしずまりぬ。五穀既にみのりて、百姓にぎはひぬ」とあり、「疾疫」と社会不安からの回復が述べられている。「疾疫」とあるので伝染病と解釈されてきた。しかし私はこれを2年続きの冷夏・凶作・飢饉による米糞失調症と判断している。崇神6年の記事で、「伝染病大流行のために」百姓が田や家を捨てて流浪するであろうか。「食を求めて(租が課せられる)田畑を捨て」の方が自然な解釈であろう。韓伝にも流民発生の記事がある。倭に租があったことは魏志倭人伝に記述がある。2年続きの疾疫からの回復に関連し

て崇神7年の豊作が述べられている。さらに崇神12年の条には天皇が回顧して言う言葉の中に「寒さ暑さ序を失えり。疾病多に起こりて、百姓災を蒙る」とある。つまり崇神5年の「疾疫」が農と関係する米糞失調症であり、その原因が異常気象であることがさらに明確に述べられている。

日本書紀では崇神紀から宣化紀(534年)にわたる期間中に、これほどの「疾疫」や凶作・飢饉を暗示する記事がないことから、崇神5年は光和5年(182年)と比定できる。タウポ大噴火は181年春で、その年には冷夏・凶作はまだ発現せず、発現したのは翌年である。184年(2月に黄巾の乱)には気候は完全に回復し、倭では豊作となっている(崇神7年)。この比定が確定すると次は「倭国乱」の年代が問題となる。

2世紀後半に「倭国乱」があったことは、中国の5つの正史が記述している。『三国志』(魏志)倭人伝、『後漢書』東夷列伝、『梁書』諸夷伝東夷倭の条、『隋書』東夷伝倭國の条、『北史』列伝倭國の条、である。この「乱」の実態はなにか、いつどこで、どれくらい続いたか、中国史書の記述をめぐって様々な推定がなされてきた。列挙した史書は前時代の史書の引き写しであるものもあるが、新たな史料で記述の年代幅が縮まっているものもある。いずれにせよこの倭国乱は卑弥呼が倭女王として共立されたことによって終息している。そして239年倭女王卑弥呼は魏王朝に貢献し、答礼の魏使団が240年倭国を訪れている。248年ごろのもう一回の来倭魏使団の見聞も合わせて、魏志倭人伝は書かれている。

2世紀後半という年代の一致から、また魏志韓伝・日本書紀崇神6年記事の「流民発生」からも、さらに民の背反は徳政(減税)では制御できない、という事態の説明からも、これが「倭国乱」に相当すると判断できる。崇神5・6年以外に「倭国乱」を暗示するような記事は日本書紀には見いだせない。倭国乱とはタウポ大噴火による182~183年の2年続きの異常気象・冷夏凶作・飢饉による社会不安であり、日本書紀の崇神5年は182年である。



長谷川 昭

東北大学名誉教授，東北大学客員教授

専門分野 地震学

地震の発生は水がコントロールする？

沈み込み帯で発生する地震には、主として、プレート境界地震、スラブ内地震、内陸地震の3つのタイプがある。最近の研究により、これら3つのタイプの地震のいずれも、その発生には、地殻流体が重要な役割を果たしているらしいことがみえてきた。

スラブ内地震は、それが発生するような深さでは法線応力が非常に大きく、そのため断層面の強度が極めて大きくなってしまふ。スラブ内地震を起こすためには、それを超えるせん断応力が必要であるが、実際にそのように大きなせん断応力が加えられているとは考え難い。従って、強度を下げる何らかのメカニズムが働いているはずである。有力な説の一つが脱水脆性化である。プレートが沈み込むと、温度・圧力が上昇し、プレート内に固定されていた含水鉱物が脱水分解する。その結果生じた水が、過剰間隙流体圧の状態をつくり有効法線応力を低下させる。このようにして、封圧の大きい地球深部においても脆性破壊を可能とするという考え方である。

脱水脆性化が原因であるとする、スラブの中で含水鉱物が存在する範囲、さらに言えば、含水鉱物が脱水反応を伴う相転移／分解をして水を吐き出す場所、すなわち脱水反応境界でスラブ内地震が発生するはずである。スラブの地殻およびマントルを構成する岩石の相図とスラブ内の温度分布を用いて、世界の沈み込み帯について、含水鉱物の存在範囲／脱水反応境界が推定され、それと震源分布との比較から、確かに稍深発スラブ内地震は含水鉱物の存在範囲、とりわけ脱水反応境界に集中して発生していることが確かめられた。このように、稍深発スラブ内地震については、脱水脆性化が極めて有力な発生メカニズムと考えられている。

さらに、脱水脆性化説を強く支持する観測事実として、日本列島下の太平洋スラブ内に最近見出された稍深発地震の特徴的な空間分布がある。スラブ地殻内の脱水反応境界では、相転移により、それによって地震波速度が増加することが期待される。基盤地震観測網データを用いることにより、地震波トモグラフィでスラブ地殻の構造もイメージングできるようになった。その結果、

東北日本の下に、低速度のスラブ地殻が明瞭に映し出され、それは、期待通り、脱水反応境界が位置すると推定される深さ80 km付近の稍深発地震の集中域まで続き、それによって深さで高速度となっていることが明らかになった。この脱水反応境界と推定される深さでの稍深発地震の集中と、その深さまで伸びる地震波低速度層の存在は、関東下でさらに顕著である。ここでは、太平洋プレートは、直上のフィリピン海プレートと重なって沈み込む。そのため、フィリピン海プレートに蓋をされ、マントルウェッジからの加熱が妨げられる。その結果、太平洋プレート内の温度がこの場所で局所的に低くなっていると予測される。温度が低ければ、脱水反応境界も局所的に深くなっているはずである。地震波トモグラフィは、フィリピン海プレートと接触している場所で、地震波低速度層の深さの下限と稍深発地震の集中域、そのどちらも、予測通りに局所的に深くなっていることを明らかにした。

沈み込んだプレートの最上部は沈み込む前に海底下にあった堆積層だから、プレート境界地震が発生するプレート境界浅部には多量の水が含まれていると推定される。加えて、沈み込みに伴う温度・圧力の上昇により深部でスラブから吐き出された水も、上昇しやがてはプレート境界浅部にも供給される。従って、プレート境界地震の発生に水が関わっているであろうことは想像に難くない。事実、世界の幾つかの沈み込み帯で深部低周波微動／地震が見出されているが、その震源域が高 V_p/V_s 比を示すことから、プレート境界（と直下の地殻部分）が静岩圧に近い高間隙流体圧になっていると考えられている。

2011年東北沖地震は、その発生に水が大きく関わっていたであろうことを示すものとなった。一例が本震に伴う応力場の変化である。震源域では、逆断層の地震が卓越していたが、本震後は逆に正断層の地震が卓越するようになった。これは、震源域で応力場が変化したことを意味する。本震に伴う最大主応力軸の回転角から、本震で応力が殆ど解放され、かつ、本震を起こした応力の大きさが10 MPa程度と推定された。震源断層の深さ範囲が7～50 km程

度であることを考えるとこの値は極めて小さく、東北沖地震の震源域においても、恐らく過剰間隙流体圧により、強度が極めて小さくなっていたことを示す。

内陸地震についても、水の関与が強く疑われる。沈み込んだスラブから吐き出された水は、マントルウェッジを経由して島弧地殻にも運搬される。スラブ起源の水が空間的に集中して供給されていると推定される東北脊梁山地周辺では、活発な浅発地震活動がみられる。ここでは、プレート収束方向の短縮変形が局所的に大きく、活断層も密に分布する。さらに、日本列島で最近発生した内陸大地震についてみると、いずれの場合も、震源断層直下の下部地殻に顕著な低速度域が認められる。稠密余震観測網によるデータを用いた地震波トモグラフィでイメージングされたもので、これらの地震の断層面に、深部から流体が供給されたことを想像させる。

2011年東北沖地震の場合と同様に、地震に伴う応力場の変化も見出された。2008年岩手・宮城内陸地震がそれで、一様にプレート収束方向に向いていた最大主応力軸の方位が、本震後は滑りの大きかった領域を中心に同心円状に分布するようになった。この特徴的な空間分布は、静的応力変化のそれと一致し、本震前の応力が静的応力変化で書き換えられたと推定される。そうだとすると、ここでも、応力は数～十数 MPa程度と非常に小さな値となり、過剰間隙流体圧により強度が小さくなっていたことを示す。

以上のように、沈み込み帯の地震の発生は過剰間隙流体圧に起因すると推定される。さらなる検証が必要なことは言うまでもないが、いずれにしても、流体がその発生に重要な役割を果たしているようである。検証を進めることにより、理解が一段と深まり、地震発生予測の高度化に結びつくことを願うものである。



花輪 公雄

東北大学理事

専門分野 海洋物理学

海洋物理学研究のここ40年の潮流と私たち

はじめに

このたび日本地球惑星科学連合のフェローに選ばれたことは、私にとって大変光栄でかつ名誉なことである。ここまで指導して下さった諸先生方、先輩諸賢の方々、そして研究を共にしてくれた研究室内外の多くの皆さんに、深く感謝の意を表したい。また、研究室を支えてくださった方々、そして研究の名の下にわがままな時間の使い方をしてくれた家族にも感謝したい。

本稿では、私が海洋物理学研究の道に入った1970年代（以下西暦の下2桁で記載）半ばから現在までのこの分野の研究の潮流を概観し、いくつかのところには私たちの関わりについて記してみたい。なお、参考文献を挙げるべきであるが、字数の制約もあり省略した。

探検的観測から実験的観測へ

(1970年代半ばから)

海洋の研究も、まずは海の観察から始まる。世界の海洋を対象とした本格的な観測は、19世紀半ばのチャレンジャー号の探検航海から始まった。海洋という対象は広大であるので、探検的 (expedition) 観測の時代が長く続いた。現象の素過程解明を目指し、組織的で実験的 (experiment) な観測が行われるようになったのは70年代半ば以降のことである。その一つに、北大西洋内部領域で多数の係留系を配置した長期観測により中規模渦を同定し、海洋にも大気と同様多数の渦が存在することを見出したMODE (中規模力学実験計画) を挙げることができる。

一方我が国では、黒潮大蛇行が75年に発生したので、日本南岸の黒潮に関する理論的・数値的・観測的研究が行われた。また、'公害'問題が顕在化し、沿岸域の環境科学的研究が進められていた。私自身はこの時代、生態学の人たちと宮城県内の感潮河川や干潟を対象とし、海水の流動や拡散混合に関する観測的研究を行っていた。

海洋研究の気候学的側面

(1980年代半ばから)

80年代に入ると世界的に気候研究の気運が高まり、WCRP (世界気候研究計画, 1980年~) が実行に移された。TOGA (熱

帯海洋全球大気計画) や WOCE (世界海洋循環実験計画)、そして GEWEX (全球エネルギー・水循環実験計画) などが相次いで走り出す。我が国でも気象や海洋の分野で、WCRP 関連の研究計画が開始される。気象や気候研究者と海洋研究者が本格的に対話を行い、協働するようになったのがこの時代であった。

私たちも、我が国の WCRP 計画の一つである OMLET (海洋混合層実験計画: 主査は東北大学鳥羽良明教授) を進める中から、亜熱帯モード水などの表層水塊の形成やその循環の研究、海洋を強制する大気大循環の長期変動特性の研究などに邁進することになる。この中で、統計的にはエルニーニョ期間中の冬季は季節風が弱まるため暖冬となり、日本近辺の海面水温は正偏差を取り混合層も発達しないこと、亜熱帯モード水の形成量も低下することなどを見出した。

WCRP 計画は世界各国から研究者が集い、合意した目的に向かって共同で研究する国際計画であった。地球惑星科学は1か国のみでの努力ではとても対応しきれないスケールにわたる学問であり、WCRP のように世界的に組織化された研究計画を本質的に必要としている。海洋のコミュニティが強くこのことを意識したのはこの WCRP からであった。

TOPEX/Poseidon の時代

(1990年代半ばから)

上記 WOCE に貢献することになるアメリカとフランスの高度計を搭載した TOPEX/Poseidon 衛星 (T/P) が1992年に打ち上げられた。海面高度がわかれば地衡流の仮定の下、表面流速を推定できる。海面高度は、海洋データ同化モデルへのもっとも重要な同化資料でもある。T/P の時代は、10日ごとに世界の海洋の表面流速場がほぼ均一に得られことにより、海洋物理学は渦無しから渦有り海洋の学問へと飛躍的な発展を遂げた時期であった。

この時期、私たちは T/P データと、OMLET で行った東京-父島間の XBT (投下式水温水深計) や ADCP (音波ドップラー流速計) の資料とを組み合わせ、黒潮沖合には、空間スケールが数百 km で時間

スケールが数日目の、非線形性の強い高・低気圧性渦が多数存在すること、これらの渦は黒潮続流域で形成され、線形ロスビー波の伝搬速度よりも速い速度で西方伝播すること、さらに九州東岸域で黒潮と衝突したりあるいはすり抜けたりして、結果として日本南岸の黒潮流軸に蛇行をもたらすこと、などを見出した。

Argo の時代 (2000年代半ばから)

90年代後半、アメリカから中層フロートを世界中の海で300 km 四方に1台、計3000台を展開する Argo 計画が提案された。このフロートは10日に一度、深さ2000 m から海面までの水温と塩分を計測し、浮上後人工衛星にデータを送信する。この計画の重要性はすぐ世界各国で認識され、我が国でも2000年からミレニアム計画として実現した。この計画終了後も海洋研究開発機構と気象庁が運営し続けている。当初の目標であった3000台の運用は07年秋に達成され、現在は新たな目標に向かって整備が進められている。私たちは、様々な立場で我が国の Argo 計画の推進を担ってきたと自負しているとともに、Argo データのヘビーユーザーでもある。世界の海洋から、年間約10万点に上る水温と塩分のデータが生産される Argo 計画は、海洋学に革命をもたらしつつある。

おわりに - 海洋の力学的診断の時代へ

(2010年代半ばから) -

10年代半ば以降の次の10年の海洋物理学研究の潮流は何であろうか。私自身は、高度計データと Argo データを同化した数値モデルのアウトプット資料、すなわち海洋再解析データに対する力学的診断の時代になると考えている。現象への単なる記述を超え、力学的に診断することで新たな解釈と発見が生まれ、その結果として将来予測可能性の拡大・拡張が行われるであろう。いや、そうあって欲しいと願っている。



廣田 勇

京都大学名誉教授

専門分野 気象学, 特に中層大気力学

伝統の継承ということ

1. 歴史の伝承

近代科学の歴史は17世紀のガリレイ、ニュートンの時代に始まるが、さらにその源流は古代ギリシャにまで遡ることができる。私の専門分野の気象学 (Meteorology) はその語源が紀元前4世紀のアリストテレスに由来している。彼の書いたテキスト「気象学」は邦訳されているので今なら誰でも容易に読むことが出来る。私も通読したが、二千数百年という長い時間を越えて思想・理念が伝えられていることに畏敬の念を禁じ得なかった。今日に至るまでギリシャ語ラテン語を始めとする種々の言語・国籍を経由し書き伝え読み継がれてきたのはそれが文字通り classic (古典) であるからに他ならない。「古典」という言葉は字面からややもすると「旧いもの」と誤解されがちであるが、classic の本来の意味はクラフン (第一級品) ということなのである。それゆえ、その恩恵に浴している現代の我々はそこから何を学び何を次世代に伝えてゆくかの責務があることを忘れてはなるまい。

2. 時代の持つ意味

科学に限らず、人類文化数千年の長い歴史のなかで、ひとりの人間の知的活動期間は高々半世紀程度である。生まれてくる一人の人間にとって、民族・国籍・血統などを自分で選べないのと同様に、どの時代に生きるかも命運としか言いようがない。物理学の世界でニュートンやアインシュタインがいかに偉大な業績を為したと言っても、時代そのものを変えたというよりはやはり大きな時代の流れの中での優れた営為というべきであろう。その意味で我々は与えられた時代のなかでどう生きるかが問われることになる。

近年いわゆる世代差の議論として、年長者と若者の意識の違いを「時代が違う」のひとつで安直に片づける風潮がしばしば見聞されるが、それは大きな誤りである。いや、誤りと言うより、「相互の自己責任放棄」と言うべきかもしれない。

このことは、我々の研究分野でも数十年以上昔の論文を読むとき明確に現れる。自分が大学院に入って勉強・研究をはじめた当時は1950年代60年代の研究論文がま

さに最前線のホットなテーマであった。これに対し、19世紀末から20世紀初頭ころの論文は確かに「古い」という側面もあったが、同時に「観測が殆ど無い時代によくこれだけのことが考えられたものだ」と感嘆させられたことも強く記憶に残っている。

時代の特徴を表すもうひとつの側面は技術の進歩である。地球科学の場合、第二次大戦後のIGY以降の研究手段における人工衛星観測や大型計算機の普及などがそれに当たる。当然、新しい観測からは数多くの新しい現象事実が見出され、膨大な量の観測データの統計処理から従前の限定的記述を越えた信頼性が与えられた。同様に計算技術の発達からは定量的な議論が可能となった。このような時代の流れに対応して個々の研究対象や研究手法も変わってきているのは確かである。しかしながら、より大きな立場から俯瞰してみれば、地球という大自然に立ち向かう問題意識が変わったわけではない。本来、技術とは目的達成のための手段に過ぎない。計算機の性能が上がったからといって研究の質が自動的に向上するなどということはない。道具の有用性はそれを使いこなす側の能力で決まるのであって時代が決めるのではない。

要するに時代の違いなどが高が知れたものに過ぎない。その奥に一貫して流れているものを見つめる眼こそが大切なのである。

3. 学風の継承

現在の日本の大学教育制度にあっては、学部生の段階におけるカリキュラムは与えられたものであろうが、大学院進学では研究分野・テーマのみならず指導教員 (大学と研究室) を自由に選ぶことが出来る。したがって、学位を取得し独立研究者として学界に出るとき、問われるのは何々大学博士の肩書ではなく、どの先生の下で学んだかである。

「師弟関係」とは、科学に限らず美術や文学などの芸術分野にも存在する。芸術の世界で師から教わるのは単なるワザ (技法) ではない。まさに「芸」である。それと全く同様に、科学の世界で師から教わるのは知識や技術ではなく、研究に立ち向かうときの理念や精神である。それを我々は「学風」と呼ぶ。もちろんそれは一朝一夕

に身に付くものではない。研究者の生涯を通して、いわばライフワークの中に浮かび上がってくるものである。それはまさに生物のDNAと同じく師から教え子へと世代を経由して伝わってゆく。

私の気象学について言うなら、東京大学理学部における指導教授であった正野重方先生の学風を時代的に遡ると藤原咲平・岡田武松・北尾次郎、そしてさらに19世紀末の明治時代に北尾が独逸留学で教わったヘルムホルツにまで辿り着く。そのDNAは正野先生から見て3世代下に当たる現在の若手気象学研究者たちに受け継がれているはずである。

過日、某所で、「物理学には現代物理学の対比として古典物理学があるが、我々の分野には古典地球物理学と呼べるものがあるものだろうか」という議論を行なったことがある。

議論の土俵を「科学史」に限定するなら、量子論・相対論の出現のような歴史年表上の線引きを地球科学分野で探すことは可能かもしれないが、いまここで議論したいことはむしろ、アリストテレス以来の地球観・宇宙観が現在でも生き続けていることを確認することのほうが大切だ、という信念である。

地球を太陽系のなかの一惑星として捉える「地球惑星科学」の名称に象徴される自然観は決して最近生まれたものではない。この地球惑星科学連合が学会組織として正式に名乗りを挙げたのはごく最近であるにしても、その構成母体である個々の学会の中には気象学会のように百数十年の長い歴史を持つものもある。そこに流れている数多くの先達の優れた功績や学風を忘れることなく次世代に引き継いでゆくこそ我々の使命である。

この小文はJpGUフェローの名称をいただいた老学者の回想録のつもりではない。目を通してくれた若手研究者たちが、それぞれの立場から、長い歴史があつてこそこの現在であることを認識していただけたなら幸いである。



深尾 良夫

東京大学名誉教授，海洋研究開発機構特任上席研究員

専門分野 地震学，地球内部物理学

地震予知研究

私もいつの間にか齢 70 を超した。地物を専攻した研究者が年を取ると何故か地震予知に転向する例が多いと聞く。自分はどうかだろうか？今から転向するにはいささか年を取り過ぎた感があるが、これからの地震予知研究は面白いと思う。

理由の第 1 は、プレート境界に応力の溜まっていく過程が今や GPS 観測と計算機モデリングとを組み合わせれば追跡できるようになってきたことである。これによってプレート境界のどこで (xx 年以来) どれだけ滑り欠損が生じているかを見積もることができるようになりつつある。実際、この手法で巨大地震の発生を成功裏に予知した例が南米や中米に少なくとも 2 件ある。恐らくはこの大域的アプローチ (プレート断層面上の滑り欠損分布のマッピングとその時間変化追跡) が地震予知への本道であろう。ここには、陸上 GPS に匹敵する海底測地技術の確立というチャレンジング且つ魅力的な技術的テーマも横たわっている。

理由の第 2 は、震源過程の研究が地震予知に結び付く成果を出すようになってきたことである。地震の応力降下量が地殻の岩石強度よりもはるかに小さいことはよく知られている。最近、この小さな応力降下量がプレート境界断層の持ちこたえうるぎりぎりの応力レベルであることがわかってきた。プレート境界はこの応力状態と殆ど摩擦ゼロの状態の間を行ったり来たりしていることになる。ぎりぎりの応力レベルとは、潮汐に伴う応力変化の 1-2 桁上の程度である。巨大地震発生前の地震活動と潮汐の間には顕著な相関が見られるが、こうした相関は限界レベルの応力が比較的低いからこそ見られるものであろう。限界レベルの応力が意外に低いとすれば、地震滑りの発生は潮汐のような外部擾乱ばかりでなく、断層面上のちょっとした揺らぎにも敏感に反応すると考えられる。地震を絶対応力変化の問題として捉え直すことは、震源過程論の中身を豊かにする一方で地震予知に貢献する途でもある。

考えてみれば、巨大地震前に潮汐と相関して起きた多くの地震は大きく成長するこ

となく終わった地震である。前震活動も多くの場合、本震にそのまま発展するわけではない。むしろ本震が起きてしまったあとで、あれは前震活動だったのかと判断される例が殆どである。巨大地震の初期破壊過程が始まったあとですら、それが巨大地震にまで発達するのか途中で戻す癖みとなるのかを予測することは一般的にはできない。広域にわたって応力レベルが限界に近づいていることがわかったからといって、ある一点に発生した滑りがどこまで成長できるかを予測できるわけではない。滑りの伝播は自身の作り出す応力場と既存の複雑な応力場とのダイナミックな相互作用の結果であり、その将来をはるか先まで見通すことは不可能だからである。震源過程の研究は、直前予知の難しさを改めて明らかにしたとも言える。

滑り欠損が大きく広がる地域が同定できれば、どんな観測をどこに集中し、どのように災害に備えればよいかの策が立てられるであろう。この言わば巨視的な地震予知のアプローチは海底地殻変動観測技術の発展と共に今後大きな成長が見込める。一方、地震後の応力レベルがゼロに近いのであれば、自然界の様々な応力揺らぎに地震発生は敏感な筈である。この感受性は、一方でいわゆる前兆現象を引き起こし予知の可能性を高めるが、一方で地震破壊過程の複雑性をもたらす直前予知を困難なものにする。今の所、地震の震源過程論と前兆現象検出の努力とは殆ど噛み合っていないが、今後は震源過程論に関する成果を前提とした地震前兆研究の展開が必須と思われる。

前兆現象には、力学的なもの、電磁気学的なもの、そして地球化学的なのものが報告されているが、電磁気学的前兆現象も地球化学的前兆現象もその原因としては地下の岩石の微小破壊とそれに伴う流体移動が提案されることが多い。もしこの微小破壊→流体移動が地震破壊を促進する方向に働くのだとしたら、このプロセス自体が“観測も含めて”震源過程論の中に組み込まれるべきものであろう。前兆現象研究は、それを地震学から切り離すのではなく、震源過程論の中に整合的に組み込んでいく方向に

こそ展望があるとする。絶対応力の問題を主テーマとしたプロジェクト (科研費新学術領域研究) も始まった。地震学としての地震予知研究はこれからが面白い。



藤井 敏嗣

東京大学名誉教授、環境防災総合政策研究機構 環境・防災研究所長

専門分野 マグマ学、火山学

御嶽山火山噴火に直面して

この冊子のために原稿を用意していた時、御嶽山で噴火発生との第一報が入った。火口近くに大勢の登山客がいる中での噴火。噴火警戒レベル1、平常での噴火である。不意打ちの噴火が発生して、火山噴火予知連絡協会会長の職にあるものとして無力感を感じている。

火山噴火を科学的に予知することは難しい。それでも、これまで経験則によるとはいえ、いくつかの火山噴火を予知し、災害軽減に役立ててきた例はある。1974年に火山噴火予知計画が始まって以来、不意打ちの噴火によってこれほど多数の犠牲者が発生するのは初めてである。

火口周辺に人がいなければ、これほど多くの人命は失われなかったはずである。9月10日、11日に発生した山頂付近の地震発生を受け、気象庁は警戒レベルを2に上げて、火口周辺警報をだすべきだったという意見はある。地震発生だけで、地殻変動を伴わなかったため、警戒レベルを上げなかったという気象庁の説明がもっともだとする意見もある。火山専門家の中でも意見は分かれるのである。水蒸気爆発を予測することは前兆現象が現れにくいためにとりわけ難しい。さらに、このような不確かな情報をどのように社会に伝えるべきかについても悩ましい課題である。

この災害発生後の様々な社会の反応から、火山噴火予知連絡協会に関する社会の理解が実際とは大いに異なることを改めて思い知らされた。専門分野の近い地球科学の研究者すら誤解しているという現実に直面して愕然とした次第である。言い訳だというそりは覚悟の上で、当初書き始めた内容を変更して、火山噴火予知連絡協会について述べることにしたい。

火山噴火予知連絡協会が発足したのは、1973年6月の文部省の測地学審議会において「火山噴火予知研究の推進について」がまとめられ、関係大臣に建議された時にさかのぼる。

1974年から国家事業として実施に移された計画では、それぞれの火山の特性に応じた観測体制を順次整備し、火山研究と噴火予知の実用化に必要な観測データを得ることが目標に掲げられた。このため、火山観測の拡充強化、研究観測施設、移動観測

班の整備、予知手法開発のための試験研究の推進、火山噴火予知連絡会の設置、人材養成が計画の主要な柱としてとりあげられた。

この計画に基づいて火山噴火予知連絡協会が気象庁長官の私的諮問機関として設置され、気象庁が事務局を務めることになった。連絡協会の構成員には計画の実行に当たる大学の研究者を中心とする学識経験者だけでなく、文部省、国土庁、科学技術庁等の関係機関の行政官も含まれているのが、先行する地震予知連絡会と大きく異なる点であった。これは火山噴火予知の実用化以前でも、火山噴火発生後の推移予測などにおいて研究成果が防災に役立てられるという認識もあり、行政的な機動性と迅速な判断が必要とされたためであり、設立当時から防災を意識したものであった。

火山噴火予知連絡協会の任務は以下の3点である。

- (1) 関係諸機関の研究及び業務に関する成果及び情報を交換し、それぞれの機関における火山噴火予知に関する研究及び技術の開発の促進を図ること。
- (2) 火山噴火に際して、当該火山の噴火現象について総合判断を行い、火山情報の質の向上を図ることにより防災活動に資すること。
- (3) 火山噴火予知に関する研究及び観測の体制の整備のための施策について総合的に検討すること。

ここに掲げられた任務には、どこにも火山噴火を予知するとは書かれていない。もともと、火山噴火の予知をめざした研究を推進するための連絡協議の場として発足したのであるから当たり前のことである。

通常、1年間に3回、定例の会議が開かれるが、噴火発生等の事態を受けて臨時会議が開かれることもある。かつては予知連絡協会が噴火活動の評価を行った際に統一見解としてまとめることや、会長コメントとして発表することが多かった。また、会議後に記者会見が設定され、マスコミからの質問に会長が対応することも定例化している。このため、火山噴火を予知する機関であるかのような誤解が生じたのであろう。

2007年から気象庁が気象業務法を改訂して、全国の活火山に対して噴火警報・予

報を発表することになり、同時に準備の整った火山から順次、噴火警戒レベルも導入することになった。気象庁が火山噴火の予報を行うということは、火山噴火を予知することを宣言したようなものである。

ところが、世間では警報を出すのも、噴火警戒レベルを決定するのも火山噴火予知連絡会だと思っている人も多い。24時間の監視業務を必要とするこのような任務を、大学で火山の観測研究や教育に携わる研究者が果たせるはずがないことは自明だと思うが、世間ではそのように考えないらしい。大学教員とはどのような人種なのかわかってもらうことが必要かもしれない。

ところで、2004年の国立大学法人化によって、大学による火山観測は困難な時代に突入した。各大学には2003年次の実績に基づく予算が一括して運営費交付金として交付され、火山観測点の整備・更新に使われてきた施設整備費の要求はできないことになった。このため、各大学の観測点は老朽化しても更新することが困難になった。

火山噴火予知計画を発足させた、かつての測地学審議会は文部省と科学技術庁の統合によって廃止され、科学技術・学術審議会のもと測地学分科会となっていたが、この分科会の下火山部会ではこのような事態を受けて、「今後の大学等における火山観測研究の当面の進め方について」という提言を2008年にまとめた。それまで大学が34火山についておこなってきた火山観測を活動が活発な16火山に重点化し、この16火山については独立行政法人防災科学技術研究所などの研究機関を通じて基盤的観測網の充実を図るとともに、観測データの流通を通じて、予知研究に役立てることを提言したのである。この重点化から外れた火山の中に名古屋大学が観測研究を行っていた御嶽山が含まれている。しかし、そのことが今回の噴火によって多数の犠牲者が発生したことの原因ではあるまい。現在の火山噴火予知と火山防災の実力が、火山災害を軽減できるまでに至っていないからなのである。



本蔵 義守

東京工業大学名誉教授

専門分野 地球電磁気学

観測を主体とした 地震発生過程研究の国際展開

我国で1960年代から組織的に始まった地震予知研究では、地震予知連絡会を中心に地震発生前の異常現象が議論され、地震予知への期待を高めてきた。さらに1970年代には各種異常現象を包括的にとらえ、岩石実験研究からの知見を取り入れた dilatancy-diffusion model が C. Scholz によって提唱されるに及び、当時大学院生であった筆者も大きな衝撃を受けた。もちろんポジティブな意味での衝撃である。しかし、観測報告例の信頼性や再現性が確認できないケースがその後相次いだことから、そのブームも消え失せてその後の衰退につながったと筆者は理解している。その後は、一方では工学や社会科学と連携した実用的防災・減災を重視する政策への転換、またもう一方では地震発生過程解明を目指す基礎研究への回帰の流れとなっているというのが筆者の見立てである。

そのような状況の中で筆者はどのように研究を進めてきたのか、振り返ってみたい。筆者の志した道は、大学院生の頃に巷に流布していた“予知の本命は地殻変動と地震、ダークホースは電磁気、地下水”のうちの電磁気である。しかし、我国は人口密集と電化の普及のため、精密電磁気観測は非常に難しいというのが実情であった。しかも、予知観測研究自体も根本的問題を抱えている。地震発生が予想される場所を観測域としたいのであるが、長期的にはともかく、短期的には発生場所が予知できていなければならぬという自家撞着に陥る。そんな場所があるだろうか？ 我国にはないが、外国ならばある！それがトルコの北アナトリア断層西部域だった。1981年の夏、当時35歳だった筆者は助手、大学院生と3名で JSPS の国際共同研究費を得て現場に出かけた。何しろ初めてのイスラム社会の国であり、相手国の共同研究者には会ったこともないということから、苦労の連続であったことは想像できるだろう。その後も断続的に科学研究費等の研究費を得て観測を継続しているうちに、1999年8月17日未明に観測域で Mw7.6 のイズミット地震が発生した。17,000名あまりの犠牲者を出す大惨事であり、観測開始から18年後のことであった。観測データには地震直前の地殻比抵抗変化が秘められていたこと

を最近になって発見した。比抵抗変化は地殻中の流体の状態変化に起因し、地震観測データから推定される破壊開始点近傍のスロースリップの進行中に起きていたと解釈される。

スロースリップ現象はほかにも例がある。我国では東日本大震災を引き起こした2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0)、南米のチリで発生した2014年イキケ地震 (Mw8.1) である。これらの3例は地震発生予測を目指す研究者を勇気づける。もちろん、以前の楽観的地震予知とは区別して考えられるべきという前提ではあるが、スロースリップを伴わない地震の方が圧倒的に多いのか、あるいは観測網が充実していれば今後続々と類似事例が出てくるのか、まったくわからない。しかし、こうした事象の検出のための観測、及びさらに重要なスロースリップと地震発生のかかわりに関する基礎的研究を進めることに異論はあるまい。そうは言っても大地震の発生は稀であり、我国のように地震・地殻変動観測網が充実しているところでも、観測事例の蓄積には長い時間を要する。ならば、観測研究の場を世界に広げればよい。しかも、国際共同研究を対象とする研究助成制度は格段に充実してきている。その一つを紹介しよう。

JST と JICA の共同事業 SATREPS が ODA 対象国と我国との共同研究を推進する目的で2008年以来進められている。筆者は防災分野の PO として、採択課題の推進役を担っている。すでに終了した課題及び筆者以外の PO が担当している進行中の課題を含めると地震・津波関係では、対象国はインドネシア、フィリピン、インド、ペルー、チリ、コロンビア、南アフリカ、トルコの8か国に及び、トルコ課題では、筆者が取り組んだ地域の西部に隣接する北アナトリア断層がターゲットである。SATREPS は単なる基礎研究中心のプログラムではなく、研究の発展を目指すとともに研究成果の社会実装を重視する。後者の観点からは、工学や社会科学の研究者も参加し、地震動や津波ハザード評価の高度化及び避難行動・防災教育なども含むことが多い。SATREPS では JICA による機材供与も含まれるので、相手国における

地震計やGPSなどの観測インフラ強化につながる。地震・津波発生ポテンシャル評価といったサブ課題を含む SATREPS 申請という直接的方法でなくても、上記の諸国の研究者との共同研究を計画するなど、少なくとも筆者が国際共同研究を開始した1981年当時と比べると格段に条件が良いはずである。少なくとも上記の諸国とは、SATREPS による研究者ネットワークが構築されており、これを有効に活用するとよい。中南米では関連諸国のネットワーク化も計画されているので、海溝型巨大地震の研究を進める条件が整い始めていると思う。観測研究を得意とする優秀な若手研究者の積極的海外進出に期待したい。

最後に、我国の地震・地殻変動等の観測に関する現状を俯瞰してみよう。地震調査研究推進本部の調査観測計画に沿った形で観測網の充実が図られるとともに、ほとんどのデータはリアルタイムで収集されている。これらは緊急地震速報・津波情報等に欠かせないし、地震本部の地震活動等の現状評価や長期評価に活用されている。大地震発生前にスロースリップを示唆する現象が仮に現れたとすれば、その規模にもよるが、リアルタイムで把握できる可能性もあると思うのは筆者一人だけではあるまい。そうした場合はどうすればよいだろうか。現状では、気象庁の東海地域を対象とした判定会を除けば、見逃すほかはあるまい。スロースリップが地震発生を伴うケースは稀であろうと想定されるので、仕方のないことだと思うのか、あるいは事前に観測情報の伝え方等を社会学者とともに十分に検討した上で社会に発信して少しでも被害軽減に貢献しようとするのか、検討してみてもどうかと筆者は勝手に思っている。



松井 孝典

東京大学名誉教授、千葉工業大学惑星探査研究センター所長

専門分野 比較惑星学、アストロバイオロジー

PERC 雑感

東大を定年で辞める前は、余生として、これまでの仕事を整理して出版する、そのために時間を使おうと思っていた。ところが、ひよんな経緯で現在の職を得て、その結果として、東大時代に比べれば、はるかに多様な仕事に関わらざるをえなくなってしまった。

筆者の個人名を冠した研究所でよいという、破格ともいえる好条件で誘っていたのだが、結局「惑星探査研究センター」という名称にした。当初はアストロバイオロジー研究所にしようかと思ったのだが、私立の単科工業大学に、理学部的な研究所を作っても、学内的に孤立するだけだろうと、この名称は止めにした。アストロバイオロジーは目的だから、その手段としての惑星探査を前面に出せば、工学的にも協力できる場所が出てくるだろう、と考えたのだ。

その結果、これまでそれを避けてきたような仕事に関わらざるを得なくなった。何といっても、政府の宇宙政策に関わる仕事を引き受けてしまったのが大きい。以来今に至るまで、その仕事が時間的には大きなウェイトを占めている。

自分の人生だから、自分の好きなようにその時間を使う、というのが筆者の基本的考え方である。そのために学者という人生を選んだのだ。ところが、マスコミに関わったことで、この考え方は破綻した。米国の研究所から東大に呼び戻された頃、NHKから、新しい学問として惑星科学の紹介をしたい、という企画が無い込んだ。今のように、マスコミに取り上げられることが、プラスに評価される時代ではない。それを敢えて破ったその理由は、米国滞在中(NASA)に学んだ一つのことをきっかけだ。

PRの重要性だ。米国に行く前は、PRとは宣伝だと思っていた。ところがそれが、Public Relationの略で、したがって、国民の税金を使って仕事をする場合、その仕事の内容を国民に還元する義務がある。それがPRの本当の意味だということを知ったのだ。

東大は国立大学で税金を使っている。であればPRが必要だ。ということで出演したのがきっかけで、その後新聞等、他のマ

スコミに、さらには政府の審議会等にも引っ張り出され、結果として、自分の好きなように時間を使うという、当初の思いは一部破綻した。それでも学内的には、その姿勢を貫き、退職に至るまでそれを守り通すことができたのは幸せであった。

退職して、それが一変した。惑星探査研究センターということで、政府の宇宙政策のための協力を求められ、それに関わらざるを得なくなったのだ。一方で、研究所には所員を10名以上採用でき、その活動を本格化させる必要があった。博士号を取得した若手をさらにレベルアップし、自立した研究者として世に送り出す、というのが研究所を作ったもう一つの目的でもある。そのために次々と新しいプロジェクトをスタートさせた。

自前の資金と施設(人工衛星との送受信ができる3mのアンテナなど)を使い、やれることをやるということで、新しいコンセプトの探査用機器開発、超小型の人工衛星(キューブサット)による流星観測の準備などを始めた。その間に、はやぶさ2の計画が決まり、研究所としてはそれに関わるようになり、一方で流星観測の話聞きつけた米国サウスウエスト研究所(SwRI)から、国際宇宙ステーション(ISS)の米国モジュールの窓の一つに、流星観測のカメラを設置しないかという提案があり、プロジェクトの数が雪だるま式にふくれていった。

その後は、ISSの暴露部で宇宙塵を採取し、それに付着している微生物の分析を始めようと考えていたら、これまたひよんな経緯で、イギリスから一人のポスドクが訪ねてきた。聞けば、20世紀のパンスペルミア説を代表するホイールとウィックラマシングの、そのウィックラマシングのところでドクターを取り、今は2001年インドのケララ州に降った赤い雨粒子細胞の研究をしているという。

すぐに採用を決め、とりあえず、赤い雨粒子細胞の研究を、ウィックラマシングと共同で始めることにした。それを決めた途端に、今度はスリランカで赤い雨が降った(2012年11月から2013年初頭にかけ)。そこでスリランカの赤い雨粒子細胞についても研究を開始した。

パンスペルミア説は、生命の起源の研究に関わるほとんどの研究者が言及する考え方だ。しかし、だれもそれを本気で研究しようと思わず、したがって肝心のことが全く分かっていない。筆者自身も最近、原始地球における生命の衝突起源を主として研究していたが、パンスペルミア説については同様な見解であった。誰に聞いてもそれを信じないという。

しかしこれは変だ。信じるとか信じないという問題ではなく、科学的に検証しようという問題だ。そこで、このテーマを、研究センターの主たるプロジェクトの一つにすることにし、とりあえず、気球を使って30~50km位の大気中から微生物を採集することにした。そもそも地球大気の高層に、どんな生物圏が存在するのか詳しく調べられていない。こんな現状では宇宙からの微生物の飛来の可能性など調べようがない。ちなみに、赤い雨粒子細胞のこれまでの分析によれば、その正体は生物細胞である。その起源の可能性の一つは、極限環境に強いシアノバクテリアが宇宙環境にさらされ、緑の色素が紫外線で壊され赤くなっているというものだ。

これまでにも成層圏での気球による微生物採集は行われている。しかしいずれも、それは気球からの汚染によるものと考えられ、その結果は信頼性が低い。そこで新しい方式の回収装置を開発し、気球から切り離して、落下させ、生物圏を調べようと考えている。流星雨に関連して、どのような変化がみられるか調べるつもりなので、毎月あげようと思っている。

宇宙塵に付着している微生物があったとしても、高速で大気圏に突入するので、宇宙塵微生物が生き残る可能性は低い。そこで、秒速9kmの衝突実験装置を新たに設置し、関連する実験を始めている。

惑星探査というと、数百億円の国家プロジェクトを思い浮かべる研究者がほとんどであろう。しかし、もっと短期間の安い、別のコンセプトの惑星探査があってもよい。その姿を見せたいというのも、この研究所を立ち上げた理由の一つである。



松田 時彦

東京大学名誉教授

専門分野 地質学

活火山と活断層の「活」について

2014年9月27日土曜日の正午前に御嶽山が噴火した。全くの突然であったので犠牲者がでた。御嶽山には立派な火口があるが1979年までは目立つ噴気活動もなく古文書に噴火の記録もなかった。だから御嶽山は活火山ではないと思われていた。その御嶽山が1979年に有史以来初めて爆発を起こして活火山になった。御嶽山は実は死んではいなかったのである。

活火山とは気象庁や火山噴火予知連絡会によると現在活動している火山および「最近の過去」に噴火した記録（顕著な噴気活動を含む）のある火山である。「最近の過去」の期間として火山噴火予知連絡会は過去2000年、のちに過去概ね1万年とした。このように火山の「活」には現在だけでなく最近の過去における活動も含まれている。その点では活断層における「活」に似ている。

活断層の「活」は火山の活とは多少異なっている。1906年にカリフォルニアのサンアンドレアス断層が大地震をおこしてサンフランシスコ市が壊滅した。土地は7mほどずれた。サンアンドレアス断層は生きていたのである。地震後カリフォルニアのハザードマップを作るときに、断層は活断層 (active fault) と死断層 (dead fault) に二分された。活断層は今後ずれ動きそうな断層であり、死断層は今後動くとは思えない断層であるとした。断層の地形はその断層が最近の過去に動いたことを記録しているので、その断層が活断層であるか否かの判断には主に地形が用いられた。

このカリフォルニアの「active fault」は地形学者によって「活断層」と和訳されて日本に1927年に紹介された。同じ年に起こった北丹後地震ではその被害地を調査した地質学者は活断層を早速とりあげてその研究の重要性を述べている。しかし、実際に活断層の分布や地震発生との関係が調査されたのはその後、半世紀も経ってからのことである。

1950年代に私は地学科の学生であった。当時、活断層は教科書にも講義にも無く、学生は活断層という言葉を知らないまま卒業した。1962年に地震学の3先生が世話人となって「地震予知、現状とその推進計画」が出版された。いわゆる地震予知のた

めのブループリントである。その中に調査項目の一つとして「活断層の調査」があった。その時私は東大地震研究所にいたが活断層を知らない典型的な地質屋であった。しかし、やがて活断層とのつきあいが始まり、それから定年後まで40年以上もそれが続くことになった。

1970年代には原子力発電所の建設に反対する住民運動の中に活断層が登場した。1974年には活断層が実際に動いて伊豆半島沖地震が起こった。これらがきっかけとなって活断層は度々報道され社会で知られる言葉となった。活断層の研究者は増えて1975年には活断層研究会が発足し組織的に活断層研究が行われた。全国の地形が見直されて多数の断層が活断層と判定された。活断層は急増してその数は全国で2,000を超えるほどになった。日本では活断層はすべて常時は死んだように全く動いてはいない。

活断層とは最近の地質時代に活動している、今後も活動すると思われる断層のことである。断層の最近の地質時代における活動の有無は多くの場合地形の観察から知ることができる。この場合の「最近の地質時代」とは第四紀あるいはその後期として200万年あるいは過去数十万年とされていることが多い。この点は活火山の場合と異なる。火山の場合は歴史時代の過去2000年あるいは1万年の活動の有無で「活」か否かを判断しているようである。

活断層の動きは現在広く存在する地殻内の応力場のためである。その応力場が限り今後も断層は活動するに違いない。しかし、土地を有効に使用しようとする実社会では、例えばその土地をゴルフ場にするか原子力発電所にするかによって考慮すべき活断層の定義が異なってもよいであろう。「活」の意味も現社会の影響を受けている。

断層が活動すると地震が起こる。その可能性を喧伝した研究者は、活断層から発生する地震の規模や時期について問われることとなった。経験的には大きな長い活断層はそれなりに大きな地震を起こすことができるだろうし、近い過去の間に土地を大きくずらした活断層はそれだけ頻りに地震を起こしているはずだ。活断層な活動履歴をもちながら最近の過去には活動してい

ない活断層では次の地震の発生が近いかもしれない。そんな思いから、活断層と、その活断層からの地震の規模や発生頻度などを結びつける経験式（いわゆる松田式）も作ってみた。地震動に対する原子力発電所の安全や地震調査研究推進本部地震調査委員会による全国の地震危険度の評価にこれまでの活断層の調査成果が役立っている。このような活断層調査の成果は50年ほど前に提案された地震予知計画によって進展したとみることができる。

このように「活」は断層においても火山においても「現在」だけでなく「近い過去」をも視野に入れて、たとえ歴史時代にも活動していなくても、地学的調査から今なお生きてると、われわれが判断した時の言葉である。休断層も休火山も現在はあまり使われなくなったが「活」の語に対するこのような理解が進んだからであろう。

「活断層」の意義を社会に向かって強調しているときに意外な批判を受けた。「活断層」はいたずらに社会に不安を与える言葉である。だから、活断層と呼ぶのはやめて「休断層」にすべしという強い意見があった。しかし世界で通用している「active fault」を、日本でだけ休断層と訳さなければならぬとしたら、情けないことである。断層においても火山においても「活」は、その動きを地球時間で理解した時の活である。地球科学の中の「活」を正しく理解できる社会であってほしいと思う。



松本 紘

京都大学名誉教授，京都大学総長

専門分野 宇宙プラズマ物理学

学問の見方

今回、JpGU フェローの称号を賜り、今までお世話になった方々に深く感謝致します。

9年前、京都大学の財務研究担当の理事に任につき、宇宙プラズマ物理学や多くの関連研究からは遠く日々となった。さらに6年前に京都大学の総長に推挙され、引き受けるかどうか迷いもあったが、ほぼ40年も好きな研究をさせてもらった母校に恩返ししようと大学の管理運営に携わる事となった。この間、自分の専門以外の幅広い学問の実態に接する機会や学術行政、産学連携などを通して多種多様な人と接する機会を得た。立ち位置が変わり、見える世界が違ってきた。私の大学人生の大部分は研究が中心であったが、教養教育、専門教育、大学院教育、若手研究者の人材育成など教育（育人）にも多大の興味を持つ機会が増え、人生の視野が広がった。元々、一つのことだけを追求することは苦手で、常に新しいことに好奇心を持たないと窒息してしまうタイプである。いろいろな事が一斉にかつ非常に数多く迫ってくる総長職は全く苦にならずに済んだ。私の研究歴も雑多である。大学院ではミリ波の実用研究をしようと思ったが、その分野の教授が米国留学されると知り、偶然宇宙電波工学の日本の祖、前田憲一教授のもとで宇宙理工学野研究に従事することとなった。修士論文のテーマは今で言うコンピュータ・シミュレーションによる磁気圏プラズマの振る舞いであった。二人の助教授に任せ、二つの修士論文の原稿を書いて米国の雑誌に採用されたが、卒業後は実業界へ進もうと思った。しかし、前田教授、大林辰蔵教授らの強い薦めで大学に残り、助手に採用された。当時教員にも目新しかった「プラズマ物理学」に興味を持つようになり、宇宙プラズマの非線形物理学に関するロケット実験や衛星搭載機器開発に従事したが、実験だけでは府に落ちるほどその本質がつかめず、プラズマ非線形理論にも手を染めた。群速度が無限大になり、光速を超える場合のエネルギーの伝搬速度とは？という古典的問題にも興味をもったりもした。また、実験も宇宙実験だと機会も少なく、限られた空間での実験にならざるを得ないので、素人ながら、プラズマの室内実験にも取り組

み、プラズマチェンバーを手作りしてみた。理論と実験（宇宙と地上）とシミュレーションの三位一体にチャレンジである。その関係で電子情報通信学会やプラズマ物理学会などにも多くの知人が、AGU フェロー、IEEE フェロー、電子情報通信学会のフェローにもしていただいた。また、宇宙からの無線エネルギー伝送や宇宙太陽発電所にも強い興味を持ち、最近新たに宇宙太陽発電学会を発足させ、その会長就任を要請を受諾したところである。また、米国地球物理学会（AGU）から依頼されて J. Geophys. Research (JGR) や Geophys. Lett. の Editor を頼まれ、磁気圏物理学、スペースプラズマ物理学に留まらず地球物理学の広範囲の勉強をさせていただいた。多くの地球物理学の知人に助けられたことは言うまでもないが、この経験や国際電波科学連合（URSI）の会長職などを通して、多くの人間関係から様々な事が勉強できた。

しかし、学術界全体を見渡す立場になってみて、自分の研究軌跡はあまりにも狭く、かつ理工系に偏っている、と実感した。もともと文系だ、理系だというのは性に合わない。今でも文理不分離に憧れている。どんな研究に取り組んでいても、人間そのものに大変興味があり、いつでも「学問とは真実を巡る人間関係である」という見方にたどり着く。

そもそも専門が分離し、文系、理系などと言われるようになった源流はルネ・デカルトの要素還元論である。東洋では長らく文理分離はあまり行われず、緩やかではあるが科学全般に進歩が見られた。それに対し、西洋では、科学に対する宗教優位であった中世の暗黒時代を抜けたルネサンス以後、第一科学技術革命、第二科学技術革命を経て科学は急速に進歩し、東洋を追い越した。哲学の名の下に行われていた広範囲の学術、芸術が科目ごとに分離し、急速に科学は進歩していった。要素に分解する、あるいは専門ごとに細分化すれば必ず問題は解決するという要素還元論に科学者は踊ってきた。「科学」という言葉は文字通り「分科した学術」すなわち分離した細目の学問を指していた。明治初期には文学科学、理学科学、医学科学などとして使われていたが、やがて「総合科学」という意味で「サ

イエンス」を意味するようになった。

学問の樹は古代ギリシャ以来、哲学（知識を愛する：フィロソフィア）という幹から枝分かれしてゆき、文学、芸術、数学、物理学、化学、工学、農学、医学、薬学、法学、経済学、教育学などの大枝へと分離し、現代ではそれぞれの太枝から枝、小枝、梢と細分化されている。その梢のてっぺんを大学院生、若手研究者が伸ばしている。これが学問の樹の実態にかなり近い。しかし、社会の進歩、文明の変容の速度は目覚ましく、このような学問の分類や研究者のあり方では、いずれ破綻を来すことは間違いないように思う。要素に還元すれば解決するという考え方は既に破綻しており、真綿で首を絞めるように人類の生存を脅かしている人口問題、環境問題、資源・エネルギー問題、食糧・水問題、大規模疫病問題、少子高齢化問題などグローバル規模の課題は小さな専門分野の研究者では解決の糸口さえ見つかからない。このような局面に学問は対応しきれていない。文理不分離、学際融合などを進め、従来の専門分野からはみ出そうという研究者の勇気と人類文明の危機に真剣に立ち向かう研究者の意識が必要である。問題は科学者一人一人にかかっていると実感している。誰もが総合文化人にはなれないかもしれないが、いわゆるタレント文化人に大きな顔をさせないよう専門性を有しながらも勇気を持って学問全体、複雑な社会問題に挑戦し、発言してほしいと願っている。私自身は「宇」「宙」の文字が示すように、空間的にも時間的にもできるだけ広く長い時空間を眺めようとしている。とりわけ、人とは何か？ どうして高度文明が数千年前にこの地球上にごつ然と現れたのか？ 人類の出現や言葉に代表されるようにほかの動物との違いが単純な進化論で説明できるだろうか？ 人類創造論の神話や伝説は単なる当時の人々の願望や想像だけだったのか？ 現代の遺伝子工学や再生医療の進歩とその将来の発展に鑑み、神話や旧約聖書、インドのヴェーダなどに科学のメスが入れられないか？ 広大な宇宙にきつと存在する高度文明との接触は過去になかったかなどを考えて、ぼちぼちサンスクリット語でも勉強しようかと考えている今日この頃である。



丸山 茂徳

東京工業大学教授

専門分野 地球史, 地質学

私の研究史

私の専門は地質学、とりわけ野外地質学に基本があります。学位論文取得までは1年のうち数か月から200日程度を山中で過ごしていました。地質学に加えて変成岩石学、火成岩石学と放射性年代学をベースに、次のようなモデルを研究の成果として提唱してきました。①プレートテクトニクスに基づく日本列島の構造発達史、②太平洋型造山運動論の体系化、ならびに後の地球史研究の基盤であり、かつ、特殊技術となる付加体地質学の体系化、③世界の地質のコンパイルと各時代の世界の標準地域の研究を組み合わせた地球史の具体的なモデルの提唱、④付加体地質学の手法を世界最古の地質体であるグリーンランド・イスア地域の38億年前の造山帯に適用し、38億年前に原始海洋が存在し、プレート運動が機能し、太平洋型造山帯が存在したことを解明、⑤ブルームテクトニクスの機能を整理して、更に上部マントルのプレートテクトニクスと核のダイナミクスを運動させた全地球ダイナミクスの体系化、⑥超高压変成帯の存在を明らかにし、これまでに信じられてきた累進変成作用の概念が間違っていることを実証し、代わって本来の累進変成作用を見積もる方法を提示、⑦世界の25の大河川の河口砂シルコンの大量分析によって、大陸地殻成長率東工大モデルを提唱、⑧現在の海溝での殆どの地域で、付加体形成よりも構造浸食が卓越することから、大陸地殻表層安定化説の反証を提示し、代わって、大陸三層モデルを提唱。

これらの研究成果に基づき、現在は、生命と地球の歴史のシステム変動モデルの構築に取り組んでいます。

一方で、2012年に東工大に地球生命研究所が生まれ、私は、生命の起源にも取り組むことになりました。生命の起源に取り組むことなど、生物学の素人の私にとって困りましたが、これはチャンスだと思い直しました。新分野への挑戦には独自の戦略が必要で、それは私が今まで専門としてきた分野の延長でなければなりません。こうして、冥王代表層環境の復元を中心に据えて、隕石学、月の地質、太古代の地球と生命誕生の前駆的・化学進化実験を組み合わせた生命の起源の研究を始めました。最

初の成果は、⑨Habitable Trinity概念の提唱です。生命の定義に関わる代謝の反応や自己複製の反応にはリンやカリウムなど20種類余の元素が必要で、生物はいわば岩石をかじりながら生きてゆかねばならないと言えます。そこで、生命誕生と進化に必要な不可欠なのは、大気・海洋・大陸の3要素が共存し、かつ、それらが定常的に物質循環する環境であることを示し、それをHabitable Trinityと命名しました。陸地が出現するためには、初期海洋質量は『多からず少なからず』でなければならず、その条件は極めて厳密な4 km ± 1 kmの厚さとなります。このような極めて厳密で狭い条件は、生命を持つ惑星の存在が極めてわずかな可能性しか宇宙にはないことを意味します。

隕石の研究と小惑星帯の観測は飛躍的に発展し、O, N, Cr, Mo, Ni, Ti, Srの同位体研究から、地球-月の起源隕石はエンスタタイトコンドライトであること、しかし水素同位体から地球の海洋の起源は炭素質コンドライトであることがわかっています。これを矛盾なく説明する解釈は⑩ABELモデルです。これは、地球-月が、無大気・無海洋の裸の惑星として誕生し、45.3億年前に表層が固化した後、44億年前頃に炭素質コンドライトを起源とする生命構成主要元素(C, H, O, N)が降臨したとする地球形成二段階説です。このモデルは原始地球の表層に月と同じような原初大陸(アノソサイト+KREEP玄武岩)が存在したこと、そこにFe₃P(シュライバサイト)が普遍的に存在したことを意味します。この巨大な陸地が猛毒原始海洋のpHを中性に近づけ、原始生命誕生の栄養塩供給母体となったことを示唆します。更に、この母体岩石は40億年前までに表層から消失しました。土屋・河合の第一原理計算による密度推定によると、原初大陸はマントル最下部に崩落した筈で、これを第3大陸と命名しました。

H₂O-CO₂酸化大気の下で、生命誕生に向けた前駆的・化学進化を起こすには、多様な物理化学環境が必要で局所的に超還元場が必要です。冥王代の前期は厚いCO₂大気(50-35気圧)が存在した為に、太陽エネルギーが地表に届かず、暗黒であった

しょう。そのような場では、マグマオーシャン固化後の原初大陸に普遍的に存在したウラン鉱床による原子力エネルギーを熱源にした⑪間欠泉が生命の誕生に大きく貢献したと考えられます。表層から地下に続く水路の上面の壁は、還元的な軽い気体(H₂, CH₄, CO, HCN, NH₃)の濃集に寄与することが可能で、ウランが崩壊する時に出るガンマ線がCOを創る主因になったでしょう。ボトムアップ型の前駆的・化学進化実験は現在、数十を超えるRNAの合成に成功していますが、DNAの世界はまだほど遠いと言えます。これを攻略するには、最も原始的な原核生物を利用したトップダウン型の研究が不可欠だろうと考えています。

その為に、⑫冥王代類似環境(水素発生場, pH=10-12, 蛇紋岩熱水系)に棲息する微生物を利用して、生命誕生に最も本質的な近道を探ることが重要です。これらの微生物のゲノムの解析と、そこから、最古生物の膜・代謝・自己複製機能を解読する研究が鍵になります。これについては、冥王代生命学の創成というテーマの下、新学術領域研究(黒川顕代表)が本格的に始まりました。生命の起源研究の最終的なアプローチは冥王代類似環境に棲息する微生物を使った人工生命実験になると考えています。

これまでに332の原著論文(英語論文が約300)を書いてきました。残り1年足らずで定年になり、国民の税金で生活する義務と圧力からやっと解放されるという安堵感でいっぱいです。

以上の研究の推進に協力してくださった以下の共同研究者の方々に深く感謝いたします。故都城秋穂、関陽太郎、中村保夫、熊沢峰夫、中沢清、深尾良夫、久城育夫、瀬野徹三、高橋栄一、磯崎行雄、小宮剛、平田岳史、檀原徹、小笠原義秀、唐戸俊一郎、廣瀬敬、河合研志、土屋卓久、寺林優、中村栄三、李野修士、及び地球史研究に協力してくださった諸外国の共同研究者(世界28か国、51の研究機関)の皆さん。



三上 岳彦

首都大学東京名誉教授，帝京大学教授

専門分野 気候学，気候変動

観測データにもとづく気候の研究

筆者の専門は気候学で、英語では climatology という。古典的な気候学は、自然地理学の一分野として、ケッペンの気候区分に代表されるような気候の地域差を気候要素の組み合わせで表現することで、植生分布や人間生活との関わりを追求することを主たる目的としていた。その背景には、ある場所の気候は基本的に変化しない静的な事象であるとする考え方が存在した。しかし、近年の地球温暖化に代表されるように、気候は長期的に変動しており、ケッペンが設定した各気候区そのものが変わりつつある。

このように、気候を動的に理解しようとする立場から、気候学は気象学・大気物理学の一分野としても研究されるようになり、気候科学 (climate science) や物理気候学 (physical climatology) の立場からの研究が進展している。手法的にも、気候データ解析に加えて気候モデルによる温暖化シミュレーションなど、大型計算機を駆使した研究が主流になりつつある。確かに、100年後の地球気候を予測するには、物理法則に依拠したモデル計算が不可欠であるが、同時に過去の気象観測データの統計学的分析など、数理的アプローチも重要であり、気候研究では観測データの解析とモデルによる数値シミュレーションは「車の両輪」といっても過言ではない。

筆者は、これまで様々な時間・空間スケールの気候研究を行ってきたが、一貫して観測データによる実証的研究に軸足を置いてきた。博士学位論文 (1977年提出) では、北半球の気候変動の地域的差異とその要因を客観的に解明する目的で、過去94年間 (1881-1974年) の世界各地の観測データに統計的多変量解析の一つである主成分分析 (EOF) を適用し、上位成分の半球パターンと500 mb (hPa) 面高度場との相互関係を考察して、北半球における長期的な気候変動の地域的特性解明を試みた。当時は、半球規模での地上観測値は電子化されておらず、冊子体で出版された NOAA の World Weather Records や Monthly Climatic Data for the World の観測データをパンチカードに打ち込み、大型計算機センターのカードリーダーから入力して、後日ラインプリンターから打ち出された計算

結果を受けとるといって、今では考えられない手作業とスローペースの時代であった。幸い、気象庁長期予報課のご厚意で、磁気テープ (MT) に入力された500 mb 面高度のグリッドデータを入手し、大型計算機センターの磁気テープリーダーを使用して直接データを読み取ることができた。現在では、20世紀再解析データがネット上で公開されており、世界中の気象観測データが研究室や自宅で常時入手可能であり、40年近く昔とは隔世の感がある。

その後、筆者の研究への関心は、グローバルスケールからローカルスケールへと向きながらも、観測データへのこだわりは今も続いている。例えば、日本の公式気象観測が開始される以前の19世紀前半まで遡った古気象観測記録の発掘 (例えば、長崎出島における19世紀前半のオランダ人医師による観測記録) とデータベース化、17世紀後半まで遡った古日記天候記録の収集とデータベース化、等々の取り組みを通して日本や東アジアにおける過去300年間の気候変動が明らかになりつつある。このような、公式観測記録の無い歴史時代の気候変動研究は、ヨーロッパでは比較的盛んであるが、日本では筆者の関係する研究プロジェクト以外では皆無と言ってよい現状である。これには、いくつかの理由が考えられる。「古い天候データや気象観測記録は信頼性が低く、研究には使えない」、「温暖化研究の最前線は、数値モデルによる将来予測が主流であり、過去のデータは役に立たない」等々、とくに若い研究者ほど手間がかかり、華々しい成果の出にくい古気候学 (paleoclimatology) 研究には魅力が薄いのかもしれない。最近、ヨーロッパで開かれる古気候・気候変動関連の国際会議に参加する機会が多いが、ヨーロッパ各地から集まった若手の気候研究者達が、研究費の乏しい中で歴史気候資料や古い気象観測データに基づく地道な研究成果を発表するのを見て、うらやましく感じている。

観測データを使った気候研究の究極は、自分自身で観測データを生み出し、そのデータに基づいて研究を行うことではなからうか。筆者の研究グループでは、10年ほど前から、東京首都圏の小学校に設置されている百葉箱を利用して、約200地点

の気温データを連続自動観測しており、既存の気象庁 AMeDAS 観測網よりも遙かに高密度の観測データが得られている。「広域 METROS」と称するこの高密度観測によって、新たな都市気温の実態が明らかにされつつある。例えば夏季の場合、明け方の最低気温出現時には風も弱く、都心部を中心とする明瞭なヒートアイランドが出現するが、日中から午後、さらに夜間にかけて、海風が強まる時間帯には、都心部の高温域から埼玉県北部に連続して広がる高温域の存在が確認されている。これらの高温域の動向は、夏季の午後に都内で発生する局地的豪雨とも密接に関連していると考えられるが、こうした局地的豪雨の発生は現在のところ高精度の数値モデル (例えば、WRF) によっても予測困難であり、詳細な観測データの積み重ねが不可欠と考えられる。

以上、筆者がこれまで長年にわたり携わってきた観測データ主体の気候研究について、いくつかの事例を紹介しながら述べてきた。観測データは、事実に基づくものであり、観測することで初めて明らかになる (なった) 現象も数多くある。おわりに、地道で時間がかかるが、新たな発見や独創性を生み出す可能性を秘めた気候の観測研究に、少しでも多くの研究者 (特に若手) が取り組まれることを願いたい。



水谷 仁

宇宙航空研究開発機構名誉教授, (株)ニュートンプレス「ニュートン」編集長

専門分野 実験惑星学, 惑星探査

フェロー受賞にあたり, 今思うこと

思いもかけず, 日本地球惑星科学連合のフェローに選ばれた。私よりも優れた人がいる中で, 私がフェローに選ばれたのは, 私を推薦してくれた若い後輩のおかげにちがいないが, この学会連合の名前に「惑星」の2文字が入っていることで, 私もいささかこの学会連合に貢献したのかと思ひ, フェローを受諾したのだった。

しかしながら, 一方で地球惑星連合学会がこのようなフェロー制度を設けた理由はよく分からない。フェロー制度を作るにあたり, 大変な作業があったと思われるが, その作業量に見合った成果があるかと問われれば, 私はNOというだろう。地球惑星学会連合やそのメンバーが今取り組むべき課題はもっと別のところにあるのではないか。そのような課題の二つをここに記してみたい。

そのひとつは, 言うまでもなく現在の日本における学術推進体制にかかわる大きな問題である。元三重大学学長, 前国立大学財務・経営センター理事長の豊田長康の調査(「何度見ても衝撃的な日本のお家芸の論文数カーブ」: <http://blog.goo.ne.jp/toyodange> をぜひ読んでいただきたい)によると, 研究者一人当たりの論文数は大学や研究所が独立行政法人化されて以降, 停滞しているか減少しているという。この10年の間にほとんどすべての国において発表された学術論文数は増加しているのに対して, 日本だけが停滞, 減少しているのだ。国際的な日本の位置は下がり続けていると言ふのだ。大学や国立研究所が独法化され, 研究者は成果, 成果と言われ続けているにも関わらず, 国全体としての論文数は増えていないのだ。豊田氏は「学術論文数は研究者数 x 研究時間に比例する」という。まさにその通り。ところが大学, 研究機関の独法化以降, 研究者の数も増えない上に, ひとりひとりの研究時間は明らかに減っている。私の会う研究者の誰もが, 独法化以降みんな忙しい, 忙しいという。研究に忙しいのではなく, 研究以外の雑用で忙しいのだ。こんな環境で日本の学術を世界水準にとどめておくのは不可能ではないか。

さらに国立大学の35歳未満の若手研究者の数も2001年以降減り続けているという。2000年までにはほぼ1万人いた若

手研究者が2010年には約67,000人と, 30%も減少している(Nature, 20 March, 2012)。

そんなことは, とくに大部分の研究者も気が付いていることだ。だけどそれを改革しようとする声はどこからも聞こえてこない。こういう声をあげて, 政府に改革を要求するのは日本地球惑星科学連合のような学会や学術会議の機能なのではないか。我が国の学術行政の大きな間違いを指摘し, その改善策を提案できるのは研究者の集まりである学会だけである。官僚も政治家もお偉いお抱え学者たちも, こういうことに気がついて, 学術行政を変革しようとは決して言わないのだ。こういった学会が本来行うべき仕事をすれば, それだけ学会に集まる人も増えるだろう。学会会費を払う人も増えるだろう。学会のフェローにしていたところをケチをつけて恐縮だが, 老人を顕栄したところで, 学会員の大多数は喜んでいない。

もうひとつ, 私の言いたいことを聞いていただきたい。それは将来の日本の担い手にもなる子供のことについてである(以下は月刊経団連「時の調べ」2014年6月号に寄稿したものを改定したものである)。

資源の少ないわが国の将来を左右するのは, 子供の教育のよしあしにかかっている。今10歳の子供も10年, 20年たつうちに, わが国を背負う人々になり, そして10年, 20年の時間はあっという間に過ぎてしまうのだ。景気対策も社会保障も重要ではあろうが, それと劣らず重要な問題は情緒と理性をかねそなえた子供を育てる教育の問題である。

子供の教育について, 私が懸念する一番の問題は, いま学校が楽しいものでなくなっていることである。イギリスの推理小説家, アガサ・クリスティはその自伝のなかでこう言っている。「人生の中でもっとも幸運なことは, 幸せな子供時代を持つことである」と。私自身も年をとって, 思い返してみると小学生のころ, 貧乏ながら, 楽しく過ごした時代がもっとも幸せな時代だったと思えるから, このクリスティの言葉に共感する。小学校, 中学校がその上の学校にいくための一里塚ではなく, それ自身が楽しいものでなくてはならない。

楽しい学校は良い先生のもとで作られる。子供時代に出会う先生の, 影響力はとても深い。小学校, 中学校時代に良い先生にめぐり合うことは, 根幹的なところでその人の一生に大きな影響を与える。それは良い先生とは何か? やさしい先生, 厳しい先生, 教えるのが上手な先生, ...色々あるだろうが, 結局のところ, 良い先生は人格者である。生きるのに少々不器用であるが, 子供を愛し, 誰にでも公平で, 常に自然の驚異に, 子供の成長に感動し続けられる先生ではないか。

こうして考えてみると, 現在の学校教育の一番の問題は, 良い先生がどんどん少なくなっていることに尽きるのではないか。これを解決するには, 学校の先生を雇用する今までのシステムを改めること, また先生の待遇を格段によくする事が大事だろう。人をつくることの重要さを考えたら, 小中学校の先生の役割は, 大学や大学院の先生のそれよりもずっと大きいから, 待遇もそれに比例してもよい。教育委員会や校長のいうことよりも, 子供たちの心を聴くことを大事だと考える人が良い。教育大学, 学芸大学など, 小中学校の先生を育成するシステムも抜本的に変えることも必要だ。知識を詰め込み, その量を競うのではなく, 人間を育てる, 人間というものを根本から考える教育が必要だろう。問題は山積みなのに, こういった問題の解決に向けた対策が講じられようとしていないことを, 私はとても残念に思っている。こういうことも, 将来の学術のことを考えている学会が声をあげるべき仕事のひとつではないか。



山形 俊男

東京大学名誉教授，海洋研究開発機構アプリケーションラボ所長

専門分野 気候力学，海洋物理学，地球流体力学

季節予測を天気予報のレベルに

この度、球惑星科学連合フェローに選出され、大変光栄に思います。1970年代初頭に惑星波動の不安定問題等、回転流体の基礎的な研究から地球惑星科学分野に加わりましたが、その後、海洋循環や大気海洋相互作用を研究する過程で、次第に社会や産業界と対話する機会が増えてきたように思います。地球惑星科学は未知の自然現象を見出し、解明する純理学的な側面と、防災や資源などで社会や産業界に直接的に貢献する応用的な側面を併せ持っています。その両方に自然な形で関わられるようになったのは、この数十年の間に地球規模の観測技術や計算技術が著しく発達し、現象の理解とともに予測科学が進んだためだと思います。これからはますます基礎研究と応用研究の谷間が埋まり、科学と社会の双方向の交流が盛んになるでしょう。ここでは天気予報から私たちの季節予測に至る歴史を振り返ってみたいと思います。

予測科学と社会の交流の善しい成功例は天気予報の歴史にみることが出来ます。天気予報とは大気運動を支配する力学、熱力学方程式系の初期値、境界値問題を解くことであると正しく定義したのはV.ピヤルクネスです。1904年のことでした。1922年にはL.F.リチャードソンが方程式系を差分化し、17世紀のB.バスカルの時代から始ど進歩していなかった手回し計算機を使って、天気予報に始めて挑戦しました。複雑な時空間階層構造をもつ気象力学への理解が遅れていたことと計算技術の遅れから、成功を収めることはできませんでしたが、彼は64,000台の手回し計算機を劇場のようなところに用意し、旗を用いて信号を送り合えば天気は実際に進行する前に予測結果を出すことができると考えて、「天気工場」の夢を持ちました。いわゆる「リチャードソンの夢」です。彼は長期予測に向かうには海や陸の境界条件も大気と相互作用する系として取り扱うべきであることも指摘していました。これは後の季節予測に繋がる先駆的な視点です。1940年代後半に汎用コンピュータを開発中だったJ.フォン・ノイマンが最初の挑戦として選んだテーマが天気予報でした。気象学者のJ.チャーニーらと協力し、順圧の準地衡流方程式を用いて世界で最初の予測に成功したの

が1950年のことです。次第に冷戦構造が明確になって、核の冬への恐怖が現実のものとなりつつあった頃でした。N.フィリップスによる二層の準地衡流方程式を用いた計算結果に顕れた大気循環構造を目の当たりにして、核兵器の開発にも関係していたフォン・ノイマンが気候の変化や変動を研究する気候研究所(後の米国海洋大気庁地球流体力学研究所)を構想したのは極めて自然なことだったでしょう

現象の予測には初期値とする観測データが不可欠です。観測データは科学に不可欠な結果の検証にも欠くことはできません。こうした地球観測の充実という面では、1957、58年に行われた国際地球観測年に打ち上げられたソビエト連邦の人工衛星スプートニクの成功を契機とするリモートセンシング技術の発達と1961年の国連総会において米国のJ.F.ケネディ大統領が提唱した世界気象監視システムによる定時定点観測とデータ転送システムの構築を無視できないでしょう。

天気予報はフォン・ノイマンらによる最初の成功からも半世紀以上の歳月が経過しました。地球規模の観測とそれに基づいたスーパーコンピュータによる予測により、1週間先までの天候であればほぼ正確に見通せるようになり、今では社会活動にも産業活動に不可欠なものになっています。科学と技術の進歩が未来予測を可能にし、新しい社会を拓いた輝ける成功例といえます。

私たちが力を入れている季節予測もこうした挑戦の延長線上にあるものですが、最近、かなりの可能性が見えてきました。海洋大循環モデルと大気大循環モデルを結合して、それに太陽の放射を与え、スーパーコンピュータの中で自由に振舞わせると、この人工地球には世界各地に異常気象を引き起こす太平洋のエルニーニョ(ラニーニャ)現象はもちろんのこと、私たちが発見したインド洋のダイポー

ルモード現象、亜熱帯ダイポールモード現象、ニンガルーニーニョ(ニーニャ)現象、カリフォルニアニーニョ(ニーニャ)現象なども顕れます。適切な初期値を与えるならば、その発生予測もある程度可能になってきています。図1に示しましたが、熱帯域を中心に濃い緑色の部分や紫色で染めた地域、海域が多く、予測精度は9ヶ月前からでもかなり良いことがわかります。

季節予測の応用範囲は食に関係する主要穀物の収穫予測、安全に関係する極端現象予測、健康に関係するマラリアなどの感染症発生予測等々、実に幅広いものです。事前の対策も可能になります。フォン・ノイマンらによる天気予報の曙の時代から半世紀以上を超えて、今まさに季節予測の科学が未来社会を拓く時代に入ってきたといえるでしょう。

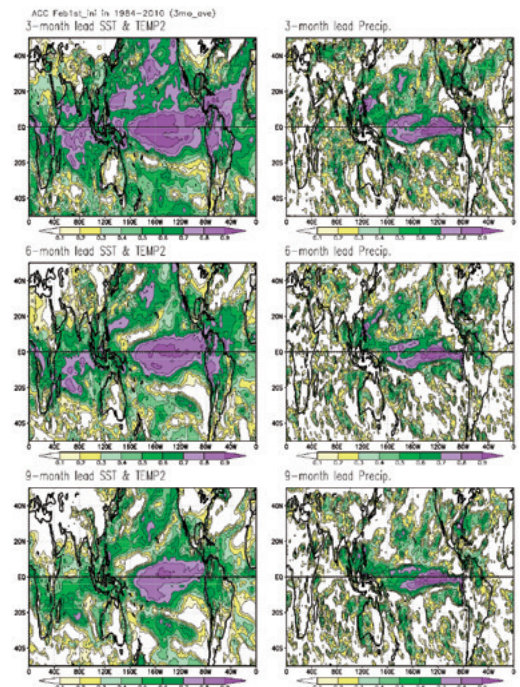


図1. 海洋研究開発機構アプリケーションラボのSINTEX-F気候変動予測システムによる海面水温と地上気温のアノマリーの季節予測精度(左)、降水量のアノマリーの季節予測精度(右)。上段から順に3ヶ月予測、6ヶ月予測、9ヶ月予測を示している。



行武 毅

東京大学名誉教授

専門分野 地球電磁気学

合同大会発足の頃

新たに設けられたフェロー制度で表彰されたのはまことに名誉なことであり、ありがたく感謝しています。昨年で25回目の大会に当たるとの事、その盛会振りを見るにつけ、第1回「合同大会」の頃のことが想い起こされます。当時は多くの学会を統合した広い分野にまたがる学会の開催が必要だと言われながらもなかなか実現が困難な状況にありました。第1回合同大会は最近の連合大会に比べると遥かに規模の小さいものではありましたが、多くの人の大変な苦労と努力によって大会の開催にこぎつけたのでした。当時私は地球電磁気・地球惑星圏学会の会長を務めており、合同大会の発足に関わり合うことができました。個人的な印象をもとに当時の事を記してみます。

第1回「合同大会」が開かれたのは1990年4月のことでした。同じ年の8月に金沢でWest Pacific Geophysics Meeting (WPGM) が開催されました。これは1987年AGUから日本での共同学会開催の提案があり、おおかたの学会が消極的な反応の中、私の前任会長の木村磐根さん等の変な努力によって実現したものです。地震、測地、地球化学、海洋、火山、気象、地質、地球電磁気・地球惑星圏の各学会と陸水グループの間に準備連絡会が組織されていました。この延長で国内の合同大会開催は簡単だと思われたのですが、この連絡会はWPGMだけのためのものであると取り付く島がありませんでした。WPGMとは無関係に新体制を構築せざるを得なくなりました。

1989年4月頃、地震学、地球電磁気学、火山学研究者の有志が集まりました。先ず固体地球物理学では最大規模の地震学会がイニシアティブをとるべきだということで、当時地震学会庶務を務めていた山下輝夫さんの働きかけにより地震学会が動き出すことになりました。地震学会の会長は新進気鋭の安藤雅孝さんでした。安藤さんだったからこそ伝統ある大組織の地震学会が動き出すことができたのだと思っています。

地震学会と地球電磁気・地球惑星圏学会が共同で合同学会開催の提案を日本海洋学会、日本火山学会、日本気象学会、日本測

地学会、日本地球化学会、陸水関連諸学会の6学会に行いました。それぞれの学会には固有の文化や伝統があり大変でした。当時地球電磁気・地球惑星圏学会の総務は浜野洋三さん、火山学会の幹事が兼岡一郎さん、地球化学会の幹事が高野一郎さんでこれらの人たちがそれぞれの学会の中で取りまとめに努められました。火山学会の会長は加茂幸介さんで兼岡さんの努力によって参加が決まりました。その後測地学会、地球化学会も参加される事になりました。測地学会は会長の萩原幸男さんが苦労されたのではないかと推測しています。結局5学会でスタートすることができました。参加学会間で連絡会が結成され、皆さん準備に忙殺されました。

他方で大きな難問がありました。会場の問題です。合同で学会を開くとなると大きな会場が必要となります。費用の問題もあり候補は大学に限られました。2個の大学に当たって買いましたが、当時は合同学会に対する理解が浅くいずれも断られてしまいました。来年度の合同大会の開催は不可能かと絶望的になっていた時、東京工業大学の本蔵義守さんから4月の入学式までの数日間大学教室が利用可能であるという連絡を受けました。ほんとうに救われた思いでした。

1990年4月5～8日、東京工業大学で11会場を使って合同大会が開かれました。大変な成功でした。何しろ初めてのことではあるし、河野長さん、本蔵義守さん始め東京工業大学の皆さんには大変なご苦労をかけた。

ところがひとつ大きな落とし穴がありました。このままだと一回限りの打ち上げ花火的な大会に終わってしまうということでした。合同大会を開くという事だけに集中して、如何にして継続させるかという対策ができていなかったのです。大会開催間近の3月下旬になって地震学会会長と地球電磁気学・地球惑星圏学会会長名で各学会宛に「合同大会を3年間継続して開催し、3年後にその後も継続するかどうか検討してはどうか」という提案をしました。私はこれで後は順調に進行するだろうと極めて呑気に楽観視していました。

しかし、事はそれほど単純には運びませ

んでした。やがて火山学会会長の青木謙一郎さんより「合同大会は最低3年位は続けるべき」との回答があり、地球化学会会長綿抜邦雄さんより参加の意思表示がありましたが、各学会とも内部はなかなか大変だったようです。関連学会連絡会幹事の石橋克彦さんが大奮闘されました。そのお蔭で次年度の合同大会について参加学会が増えてゆき、1991年度は共立女子大学(八王子)での開催が決まりました。おそらく石橋さんの働きなしにはこの時点で合同大会は頓挫しておった事でしょう。会長の任期終了により私が直接関与したのはここまでですが、その後も皆さんの協力のもと合同大会の開催が続きます。

1992年京都大学教養部で第3回合同大会が開かれました。これで3年続けて実施され、さらに継続するかどうかが大問題でした。議論の末、関連学会連絡会で継続することが決まり、1993年には都立大学で開催されました。今から見ると小規模な学会でしたが、開くのには右往左往したのでした。

その後も幾多の困難や危機的状況がありました。それらを克服して今日の連合大会があります。ここでは名前を挙げる事ができませんでしたが、大勢の人の努力によります。なかでも浜野さんは最初の有志の会から始まって、ある時は表に立ちある時は裏に廻って連合大会を支えてこられました。頭が下がります。今後も連合大会がそれぞれの分野の研究の深化に、新しい分野の開拓に益々寄与貢献される事を願って止みません。



和田 英太郎

京都大学名誉教授, 総合地球環境研究所名誉教授, 海洋研究開発機構フェロー等

専門分野 生物地球化学, 同位体生態学

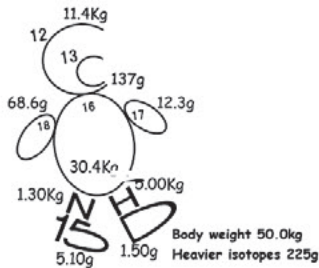
生物界を炭素・窒素同位体比で透視する — 自分史の起承転結と今後の展望

はじめに

近年, 生態学に導入された分析手法として, 分子生物学的な DNA 分析法と化学的な安定同位体 (Stable Isotope; SI) 精密測定法がある。前者は遺伝情報をつかさどる核酸の配列を解析することによって, 系統分類や親子関係の解析や, 対象生物の系統進化上の位置づけを明らかにする。一方, 後者は化学反応の際に同じ元素でも同位体が異なるために起こる反応速度の違いに起因して同位体比が変動する効果 (同位体効果) を利用するものである。生命活動を支える同化や異化などの様々な化学反応は, 統計熱力学に支配される同位体効果を伴うため, 生体の同位体比を解析することで, 生物個体が経験した物質・エネルギー代謝に関する生物現象の情報を知ることができる。生物種を超えて一般的な物質・エネルギーの動態を知ることが期待できるため, 安定同位体分析法は生物界の新たな見方 (SI ワールド) を我々に示してくれるとすることもできる。

You are what you eat!

さて生物体はどのくらいの重い同位体を持っているのであろうか。ヒトを例としたのが図 1 に示した我々の分野のロゴマークである。例えば体重 50 kg のヒトは図示した親生元素の重い同位体を 225 g も持っている。ただし厳密に測るとヒトの同位体比は, その食生活や地域の食文化の影響を受け, 個々人で異なっている。体の同位体比が, 食べたもののそれをどのように反映するかは以下のような研究から明らかになってきている。同じ餌を与えた 16 個体のラットの筋肉や臓器の炭素・窒素同位体比は個



You are what you eat!
Isotopically ordered world is yet to be explored!

図 1. アイソトープパーソン

体間でほぼ同じになる。また, 「食うー食われる」の関係での同位体比の変化をアミノ酸レベルでみると, グルタミン酸 (Glu) とフェニルアラニン (Phe) の窒素同位体比の濃縮比の差は, 様々な動物間でほぼ一定で変わらない¹⁾。

このように SI ワールドでは窒素安定同位体比の分布を測定することにより, 生態系内の物質循環のキープロセスと食物網の中での動物の栄養段階やその構造を知ることができる。私はこのような視座に立脚して, 主に食物網に沿った窒素・炭素安定同位体効果を解明し, 食物連鎖の安定同位体比推定記述モデルの構築を目指す研究を中心にしてきた。

様々な生態系に共通する炭素・窒素同位体比に関する 2 つの経験則

これまでの食物連鎖に関する成果は以下の二つの式にまとめられる。

第 1 経験則: 摂餌過程において窒素同位体比は 3.3% 重くなるのが動物界においてみられ

$$\delta^{15}\text{N} (\text{動物の筋肉}) = 3.3(\text{Trophic Level} - 1) + \delta^{15}\text{N}(\text{植物})$$

ここで Trophic Level (TL) は生物の栄養段階を意味し, 植物の TL を 1 とする。外洋を中心とする浮き魚や古代湖の食物連鎖では炭素同位体比の濃縮も見られ, 以下の式が得られた²⁾。

$$\text{第 2 経験則: } \delta^{15}\text{N} = (1.2 \sim 1.6) \delta^{13}\text{C} + \text{Cx} (p < 0.01)$$

炭素と窒素の同位体比の関係が食物連鎖を通して直線になるためには, エネルギー代謝 (異化), アミノ酸代謝 (同化) の中で生物に共通な代謝ステップが同位体効果の主因子となる。また分岐反応における生成物の換算質量が小さいほど同位体効果は大きくなるが, 他方酵素活性部位の同位体特異性もありメカニズムの解明はこれからの課題である。

$\Delta \delta^{15}\text{N} / \Delta \delta^{13}\text{C}$ 比のゆらぎについては, 同化 / 異化比が重要な因子となる事が示唆されている。この流れの研究を検証し発展させることにより生体内アミノ

酸代謝系の中で一部規格化された C/N ISOTOPICALLY ORDERED WORLD (IOW) の姿を描ける可能性がより現実的なものとなりつつある。詳細は割愛するが, ここで提案する IOW は C3 植物を出発点とする食物連鎖では, 同種動物の各種臓器の同位体比はほぼ同じであり, また栄養段階を超えて, 動物の各アミノ酸の炭素・窒素同位体分布が相対的に相似形になっていることを予想させる。この作業仮説を検証することがこの分野の一つの新しい目的となるであろう。

私の SI 研究の 50 年誌を要約すると以下のように纏められる。

起) 大学院 トレンドの発見。食物連鎖に沿って $\delta^{15}\text{N}$ が高くなる。

生物界における窒素同位体比の分布

承) 40 代 捕食者の $\delta^{15}\text{N}$ は餌よりも 3.3% 高くなる: 第 1 経験則の提示。

植物の炭素・窒素同位体比は地域性を示す。

転) 50 代 琵琶湖, バイカル湖, モンゴル草原, 南極海, 蒲生干潟などの食物連鎖を解析

60 代 環境科学への応用: 分離統合の俯瞰的パラメーターの確立

結) 70 代 第 2 経験則の導入, 体内の臓器とアミノ酸レベルにおける IOW の提唱と同位体生理生態学の開拓を目指す

先に述べた第 2 経験則を出発点とする生体内同位体分布研究は今後同位体生理生態学への展望を拓くことを予見させる。すなわち, SI 比の生体内の変動を切り口として, 生体内メタボリックマップのダイナミクスの研究を進め新しい SI 生理生態学を拓くことも期待できる。

引用文献

- 1) 石石嘉人, 高野淑誠, 小川奈々子, 佐々木瑤子, 土屋正史, 大河内直彦 (2011) Res. Organic Geochem., 27, 1-11.
- 2) 和田英太郎 (2013) 地球化学, 47, 129-138.

JGL
Japan Geoscience Letters

日本地球惑星科学連合ニュースレター

日本地球惑星科学連合ニュースレター Vol.11, Special issue

Japan Geoscience Letters 2014 年度日本地球惑星科学連合フェロー授賞記念特集号

発行日：2015 年 3 月 31 日

発行所：公益社団法人日本地球惑星科学連合
〒113-0032 東京都文京区弥生 2-4-16
学会センタービル 4 階
Tel 03-6914-2080 Fax 03-6914-2088
Email office@jpgu.org
URL <http://www.jpgu.org/>

編集者：広報普及委員会
編集責任 田近 英一
編集幹事 橘 省吾
デザイン：(株)スタジオエル
<http://www.studio-net.co.jp/>
印刷所：秋田活版印刷株式会社



