

定期テストの余白エッセイ
「試験に出ない地学 Series (2016 年度完結編)」
本篇＋資料 Part1

Essays on the blank of geoscience exams named “Shiken ni Denai
Chigaku Series (completed version, 2016)” manuscript+resource
Part.1

岡 本 義 雄

OKAMOTO Yoshio

附属天王寺中・高 研究集録 第59集 (平成28年度) 別刷

平成29年3月 発行

Bulletin of the Tennoji Junior & Senior High School

Attached to Osaka Kyoiku University

No.59 (March,2017)

大阪教育大学附属天王寺中学校
大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎

定期テストの余白エッセイ

「試験に出ない地学 Series (2016 年度完結編)」

本篇＋資料 Part 1

おか もと よし お
岡 本 義 雄

抄録：地学の教員として公立高校に就職してから、定期試験の最後の余白に地学の内容のエッセイを書き留めてきた。すでに中間総括編を本研究集録に記してからさらに10年の歳月が経った。この春に国内での高校教員生活にピリオドを打つにあたって、その完結編として2006年から2016年に渡る続編をまとめることにした。なお本稿ではエッセイ本編のみの記載として、その主意については中間編での記録に留めた。読者に感想を委ねたい。

キーワード：地学，試験に出ない，エッセイ，定期試験，高校

<完結編を綴るにあたって>

2005年に中間総括編を書いてから早10年が過ぎ、ようやく完結編を送り出すことができる段取りとなった。中間総括編以降では、比較的最近の地球科学の話題を取り扱うことが増えてきた。それだけ近年の地球科学の進展が急速で、話題にことかかなかったということかも知れない。今回の総括編では、分析はさておいて、本編でエッセイを紹介したい。それぞれの文章の意味や解析は読者諸氏におまかせすることにした。引用の原稿を調べる過程で最果タヒや9mm Parabellum Bulletといった若い才能にも触れることができた。こちらの方がこのエッセイを書き続けた一番の収穫であったかも知れない。これらのライフワークを与えていただいたこれまで世話になった諸氏にも感謝するとともに、誰よりも筆者のこのような戯れに付き合ってくれたその年々の生徒諸君に感謝したい。なおこれらのエッセイは筆者個人のWebサイト <http://www.yossi-okamoto.net> にも掲載している。

ここより資料：(長いのでフォントを落として、添付します)

このシリーズもいよいよ最終回を迎えた。この10年ずっと地震の予知の難しさを関連論文を読みながら検討してきた、一つの結論にたどりついた。つまり自然現象には決定論的に予測が可能なものとそうでないものがあるという歴然とした事実である。一方最近のAIの興隆でこのような未来予測が可能になるのではないかという安易な楽観論もある。他方でこのAIは人類に惨禍をもたらすという悲観論に陥る人々がいる。その是非はさておき、AIの発明は歴史的には、カンブリア爆発時の「眼の誕生」(A. パーカー, 2006)に比すべき大発明だという指摘もなされている(例えば松尾, 2015)。

もしそれが正しいなら我々はこのカンブリア爆発の真相を調べることも未来予測の重要なカギとなることが考えられる。この生物進化上最大の謎である、「カンブリア紀の生物爆発」については、パージュス頁岩の再評価(例えばグールド, 1991)のあと、続いて発見された中国雲南省の「澄江動物群」の解析などで、それまで突然地史に降って現れたかに見える眼を持つ生物の誕生以前にさまざまな中間段階があるらしいことが指摘されてきている。このあたりの経緯は、上記の「眼の誕生」に詳しい。しかし分子時計の解析は化石には適用できないため、現在の形態の変化のみを追いかける手法での進化の詳細説明は誤った結論を導く可能性も指摘されている(宇佐美, 2008)。

筆者は従来このようなデータが集積しつつある進化の過程の推論にもAI自身が見つかるのではないかと漠然と期待していたが、そのAIであっても「眼の誕生」の真相に至ることができないとすると、我々は未来予測どころか、過去の予測すら原理的に不可能という結論が浮かんでくる。科学の進歩は常に未来予測と隣り合わせで発展してきた。予測科学という近代科学の側面がいかに発揮されたのは物理学と天文学の分野だと思う。日蝕の予測は古代文明のころより素晴らしい精度でなされてきた。衛星「はやぶさ」は永遠に見える彼方から、小惑星の塵をふとところに奇跡の帰還を果たした。そうした分野から見ると、地球科学や生物学の分野はとて遅れた科学の分野に見られた時期があるし、今でもそう思われているくらいはある。予測が成り立たない分野は科学ではないという物理や化学分野の人に特有の「決定論的世界観」に引きずられたのが大きいと考える。

AIが用いる方法論には「遺伝的アルゴリズム」や「ディープラーニング」など、生物進化や脳のネットワークをまねる手法が流行りである。しかしその手法がノイマン型逐次計算のプログラムを採用する限り、人間の能力を越える日はまだまだ遠いようにも思える。前者では最適化を求める数学関数やパラメータは人間の選択に依存するし、後者では質のよいビッグデータを必要とする。ビッグデータは流行りであるが、どうやってノイズとシグナルを見分けるのかを考えるときに、最近のFakeニュースの盛り上がりを見るとまだまだ人間にすらその見分けは難しいのだと思われてくる。

自由競争が行き着いた究極の形態であるグローバリズムの展開の果てに、世界はもう一度ナショナルな方向に舵を切ろうとする試みがさかんである。グローバリズムはすでに時代遅れなのか、あるいはその向こうに再びナショナルな血なまぐさい時代がとぐるを巻いているのか。

かつてソクラテスは「我々は知らないということを知っている」という名言を投げかけた。まさに我々の次に行くことはこの謙虚な立場にふたたび立ち返って、過去を眺め未来を考えることしかないような気がする。それまでこのあわただしい世界が待っていてくれるという条件つきではあるが――

長らく続けてきた「試験に出ない地学 Series」はこのようにとりともめない2017年初春の感想で幕を降ろしたいと今は考えている

乾いた冬のアドレスがしだいかすかになる――

見知らぬ蒼い星雲が大きく息をつく夜
僕は失くした青春の分だけ わずかに
無口になった日記を綴る
少し他人になったような表情で
教科書をしまう君に心のなかで挨拶を送るために ---
それは
1つのトーテムを通過する季節であった—————

PS. 一年間、みんなどうも有難う (「試験に出ない地学 Series」最初の頃の詩より)

※ なお最終章はこの原稿のために、書き直してあります (生徒用は別の形になっています)。

※ 筆者のミスで2016年の原稿が抜け落ちています。(個人サイトでご覧下さい)

試験に出ない地学 Series. 2015年エルニーニョ暖冬編 「水月湖の7万年の縞と気候変動」

福井県の三方五湖(みかたごこ)は海につながる5つの湖から構成される。この三方五湖の中心にある水月湖はこの三方五湖の中心にある最大の面積の湖ではあるが観光地としてはそれほど人気があるわけでもない。ところが近年この知られざる湖の名前が第四紀の研究をする研究者の間でにわか注目を浴び始めた。wikipediaに拠れば「水月湖は水深が深く湖内に直接流れ込む大きな河川がないため、その流入などで湖底の堆積物がかき乱されることがないため、年縞が1枚ずつきれいに積み重なっている状態が保たれている。また、湖底に酸素がないため生物が息しないことで、年縞がありのまま残っていたこと。さらに好条件となった背景には湖周辺の断層の影響で、湖の底面が堀下がる沈降現象が続いており、湖底に毎年堆積物が積もって侵食して湖が埋まらないという特異な条件が揃っており、水月湖の年縞は現在では「奇跡の堆積物」と呼ばれる。」と書かれている。年縞(varve)と呼ばれるのは季節による堆積物の種類や量の違いで、湖底の堆積物に見事な1mmに満たない縞模様を1年ごとに作られる、いわば木の年輪のような縞をことをさす。

この湖底の堆積物に着目したニューカッスル大学教授の中川毅さんの研究グループが、恩師の始めた1991年の手法を引き継いで2006年より、新たな湖底ボーリングを始めた。中川さんの研究室の英国とドイツのととても辛抱強い学生が、ボーリングで得られた年縞を顕微鏡下で1年毎に丹念に数えるという、信じられないような地味で繊細で大変な仕事を完成させたという。その結果実に7万年に渡る年縞の読み取りデータが得られ、その読み取りの誤差は5万年でわずか170年にしかすぎないという。これは従来得られていた14C法による放射年代決定の精度をはるかに凌駕する画期的な年代決定法となった。

さらにこの話は時間スケールの正確な目盛を作っただけでは終わらなかった。もともと中川さんの専門は花粉分析であり、このような地層に残された植物の花粉を丹念に分析することでその地層の堆積した時代の気候変動を推定できる。その精度がいわば一挙に年スケールにまで高まったことを意味する。これらの研究から中川さんたちは、日本における氷河期から現在の間氷期にいたる気温変化をそれぞれ、1年のスケールで明らかにしつつある。その結果これまで考えられていた時間スケールよりもっと急激に過去の気温が変動してきたことがわかってきた。これは特に現在進行中の人類が排出したCO₂の影響での地球温暖化の行くつく果てがどうなるのかという予測とも密接に関係する。「未来を知るにはまず過去を知る」という地球科学の根本原理がここでも生きている。

ともあれ、この中川さんの偉大な研究のブレークスルーを支えたのは驚くことに日本の科学予算ではなく、英国の科学予算だったという。まだ無名の研究者に過ぎなかった中川さんの研究に最初にボ

ンと 1000 万円を与え、さらに最初のボーリングで予算を使い果たした、彼に今度はさらに 1 億円の予算を上乗せしてくれたという。基礎科学に強い関心を示す英国の度量の広さ、懐の深さをあらためて考えさせられるエピソードと言える。

中川さんたちのグループの研究成果を wikipedia は続けて「この水月湖の調査は 1991 年（平成 3 年）から開始された。2006 年（平成 18 年）に始まったボーリング調査では湖底の堆積物は 70m 以上の深度まで及ぶため技術的に 1 本の連続した試料として掘り出すことが不可能なため、最終的に別々な 4 カ所の穴からそれぞれ長さ 1m 程度のコア（芯）を掘り出し縞模様のパターンマッチング（採取場所の異なる複数の短いコアを連続にする為の作業）を行い 1 本の土の層に復元する事で総延長 70m にも及ぶコアが掘削された。これは過去約 16 万年分の連続した土を採取できたこととなり、その 1mm の抜けもない完全連続したこのコアサンプルのことを「SG06」（水月湖 06 年の略号）と命名した。以降、日本、イギリス、ドイツなどの共同研究チームが分析を進めて放射性炭素 14、炭素 12 の比率を調べることで、11,200 年 - 52,800 年前にわたる過去約 5 万年間の放射性炭素年代測定を行ないその研究成果を学術雑誌サイエンス誌に発表した。過去に例をみない誤差が約 5 万年で 170 年程度という精度の高さからこの水月湖の年縞からのデータは 2012 年（平成 24 年）7 月 13 日にフランスのユネスコ本部で開催された世界放射性炭素会議総会（International Radiocarbon Conference）で地質学的年代決定での事実上の世界標準となった。」と紹介している。福井県のあまり知られていない湖の名前が地学の教科書に載る日もそう遠くない。

この稿、wikipedia および、中川さんの日立環境財団主催の講演記録
http://www.hitachi-zaidan.org/kankyo/docdata/work04_18.pdf に拠った。

----- これをもって我々の旅は終わる。しかし物語は終わらない、なぜなら数学に終わりはないからだ。 --- 「ケプラー予想」 ジョージ・G・スピーロ / 青木訳 / 新潮文庫より

試験に出ない地学 Series2015 年中秋編 「リチウム存在比の謎 -アマチュア天文家とすばる望遠鏡のコラボ-

近年スマホやドローンが飛躍的進歩を遂げた裏には、デジタル革命だけでなく、電池の革新がある。このような最近の電池に多用されるリチウムは実は軽元素であるにもかかわらず地球上はおろか、宇宙でも存在比が少ない元素として知られる。OSiAlFeCaNaKMg（「おしあてかそうかま」と覚える）で知られるクラーク数は地球表層を作る元素ランキングであるが、そこではタングステンに次ぐ 27 位。さらに宇宙を構成する元素では 30 番目の少なさとなる。図がそのランキングで、これを見るとほぼ元素番号の順に存在比が減少していることがよくわかる（図は省略。産業総合技術研究所サイト https://staff.aist.go.jp/a.ohata/japanese/study/REE_ex_es1.htm より）

ところがさらに細かく見ると Li, Be, B が極端に少なく、これらの軽元素の部分で深い谷間ができてい。あとは若干の例外を除いて偶数番号で多く、奇数番号で少ないということが見て取れる。これは一体どういうことなのか？この存在比を巡る議論は宇宙の創世の際のビッグバンによる水素とヘリウムの合成と、その後の恒星の進化におけるエネルギー源を巡る議論とクロスする。ビッグバン（宇宙創世時の大爆発）では水素とヘリウムが多量に形成されるが、それより重い元素はリチウム止まりとなることが理論から知られている。そうするとそれより重い元素はその後の恒星の内部とくに、進化した赤色巨星の内部の複雑な核融合反応による元素の合成で説明されている。原子番号の多い方の元素の存在量が少なくなるのは、質量が重く、巨星の果てまで進化する星が少なくなると呼応する。さらに鉄以降の元素の存在比が一段と低下するのも、核融合における最終生成物としての安定した鉄と、それゆえにそれを芯を持った赤色巨星はもう中心に熱発生がなくなり、最後に重力崩壊してしま

う。鉄以降の元素はその数少ない巨大赤色巨星の超新星爆発の超高温の元でしか合成されないという機構で説明される。

それでは軽元素として特異なさっきの Li, Be, B 3 兄弟の存在比の少なさはどこから来るのか？ 1 つはヘリウムが 2 個合わさってできるはずの質量数が 8 個前後で構成される原子が極めて不安定で、特に高温の恒星の内部では出来たはしから壊れるためと説明される。それではそれより重い炭素などはどうしてできるのか？ ヘリウムが 3 個偶然衝突してできる炭素（質量数約 12）は極めて安定でこの元素は作られるとすぐに安定して壊れない。つまり元素の壁はいとも簡単に炭素によって乗り越えられるとするとこの谷間のできる理由も説明できる。

ところが宇宙の進化の過程を巡る研究でおもしろい発見があった。炭素以降の元素の存在比は宇宙の年齢とともに直線的に増えてきたことがわかっている。新しい星ほど金属イオンの吸収線が濃くなるというあの星の種族の話につながる。ところが Li の存在比は宇宙の年齢の途中まではビッグバンからあまり変わらず、最近の 50 億年ほどで突然徐々に増加を始めたことがわかったのだ。なぜ Li の存在量だけは宇宙の年齢と比例しないのか？ これを説明するため、これまで様々な Li 創成説が現れては消えた。最後に有力になったのがある程度年をとったあるタイプの新星が爆発（超新星よりは小さな爆発）をするとき、この Li が合成されるのではないかと推論であった。このタイプの新星は年老いた星々である。つまり宇宙がある年齢になったころからようやく新星として爆発を始める。時限爆弾のように、宇宙のあるときから着々と時を刻み初め、ある瞬間から次々と爆発すればこの途中からの Li の量の増加を説明できる。しかしその理論を証明する観測はなかなか難しかった。

この謎を偶然解く僥倖に恵まれたのが大阪教育大学の定金先生が率いる研究グループだった。奇しくも同じ日本人のアマチュア天文家多胡明さんが 2013 年いるか座に発見した新星にすぐにすばる望遠鏡を向けた。そして新星のスペクトルの中に質量数 7 の Be のスペクトル線を発見する。この原子はその後 53 日の半減期を経て Li に変わることがわかっている。つまり彼らは Li のいわば卵を新星の爆発のガスの中に世界で初めて見つけたということになる。しかも定量的な推定からその生成量は従来からの理論予想の実に 6 倍以上におよび、新星が宇宙の Li 製造工場であることがわかった。この成果は今年 2 月に Nature に発表され内外の注目を浴びた。元素の創成という地味な分野でありながら、宇宙の誕生と進化の秘密のベールに迫る発見が日本のアマチュア天文家と研究グループによりなされたということを今回は紹介した。

この話はこの新星の研究を自ら担われた大阪教育大学特任教授の定金先生に教えていただいたことが元になっている。また資料は右サイトに拠った。<http://www.naoj.org/Pressrelease/2015/02/18/jindex.html>

--- シルレア紀の地層は杳（とほ）きそのかみを海の蠍（さそり）の我もすみけむ --- 沼津市千本公園の明石海人の歌碑 ハンセン病により昭和 14 年に夭折した天才歌人明石海人による一首（この短歌の存在は天文学の研究者 磯部洋明さんの Twitter により知りました。感謝します）

試験に出ない地学 Series エルニーニョ冷夏長梅雨編 「西ノ島新島と安山岩の起源」

前触れも少なく、突然噴火し 60 余名の死者を出した昨年夏の御岳の噴火以来、先日突然噴火した口永良部島、800 年ぶりの水蒸気爆発を見せた箱根大湧谷など、久々に本州の火山がニュースに登場することが増えた。しかし 2013 年 11 月以来、人知れず大規模な火山活動で新島を形成しつつある西ノ島新島がニュースに載ることは少ない。火山活動の規模としてはニュースに報道された一連の本州の火山活動の比ではなく、着実に溶岩を噴出して現在も成長を続けている。この西ノ島新島に火山や岩石学の研究者は注目している。それはこの火山島を構成する溶岩がすべて SiO₂（ケイ酸）量が 60%

前後の非常に均質な「安山岩」であるということだそうである。

安山岩は本来、大陸や本州のような巨大な島弧を形成する火山岩であり、海洋の真ん中の火山島に噴出することは極めて珍しいとされる。通常海洋の島弧の溶岩は上部マントルで生じた初生マグマである玄武岩の溶岩が普通である。ハワイにしても、伊豆の島弧のうち、三宅島、八丈島、青ヶ島、鳥島などはすべて玄武岩マグマが噴出して形成された火山島である。それでは西ノ島の地殻には大陸のように厚い特徴があるかということと事実は全く逆で、小笠原弧の地殻の厚みは、伊豆の島弧の上記の三宅島などに比べ、15-20kmとむしろ薄い。そうすると何が一体安山岩質マグマを生じさせているのかということが、岩石学上の最大の問題となる。

もともと世界に存在する火山はSiO₂（シリカ）量が約48-70%と幅広く多様性に富んでいる。この火山岩の多様性の根拠を問う研究は、1920年代に当時のカーネギー科学研究所地球物理研究室の実験岩石学者N.L. Bowenに始まる。彼の玄武岩マグマを本源マグマとし、マグマ溜りの中での結晶分化作用で様々な組成のマグマが生じるという解明はその美しさから多くの研究者を魅了し、その後の岩石学の基礎となる。さらにその後、岩石学は進歩し、現在では玄武岩質の本源マグマが上昇の過程で、様々な物質と反応したり、混ざったりして多様な組成のマグマも生じるという形に修正されてきている。また後述するように、海洋地殻がマントルの中で溶けたマグマとマントルが反応し、高いMg濃度の安山岩が作られることもわかってきた。しかしこの西ノ島新島の安山岩の起源はそれらの岩石学の研究から来る理念に真っ向から挑戦している課題だという。

安山岩といえば、大阪の地元二上山の山麓のサヌカイトは有名である。正式名称は「古銅輝石安山岩」。この岩石と類似の岩石を小豆島で学生時代から研究し、上記の新しい安山岩マグマの生成の研究をしている、本校卒業生の岩石学者巽好幸さん（京都大学、JAMSTECを経て現在神戸大学大学院理学研究科教授）は、安山岩は太陽系の8つの惑星のうち、地球にのみ多量に存在する特有の岩石で、「地球は安山岩の星」と名づけられている。そしてその成因には広大な海洋の存在が深く関わると語っておられる。

巽さんの研究によれば小豆島のサヌカイト（サヌカイトの一種）は高いMgを含み、直接マントル起源のマグマが固まったものだという。それに対して海の中に誕生した西ノ島新島の安山岩はMgの割合は低く典型的な大陸地殻起源の安山岩らしい。陸に囲まれた小豆島の過去の溶岩がマントル起源で、海の真ん中の西ノ島新島の溶岩が大陸起源というのは地球科学における新しい謎の一つであると筆者には思える。火山活動がおさまり研究者が上陸すれば、今回の活動の溶岩も採集が始まる。その溶岩からBowenの地道な人工マグマ晶出実験からはや100年近く、安山岩をめぐるあらたな岩石学のブレイクスルーが今後発展することを期待したい。

この稿、JAMATEC ニュース http://www.jamstec.go.jp/j/jamstec_news/20140612/
<http://www.town.shodoshima.lg.jp/oshirase/tyoutyou-semi/PDF/isinosinpo-tatumikyoujyusiryouno.pdf> に拠った。

--- 錬金術のあらゆる幻想的な話（＜黒の術＞は地下への下降，＜白の術＞は放電）は、単なるシンボルにすぎない----- 「フーコーの振り子」 ウンベルト・エーコ著

試験に出ない地学 Series2015 年初夏天気異変編 「デカン高原の洪水玄武岩」

昨年秋に、地学教育の国際学会でインドに出かけた。その学会に付帯する野外巡検でデカン高原の中心部を旅した。デカン高原は世界で最大規模の洪水玄武岩の模式地の一つである。洪水玄武岩はデカン高原のほかシベリア、南アフリカ、米国コロンビア川沿岸などで知られている。洪水玄武岩と呼ばれるのは、何よりその噴出の規模の大きさ（デカン高原で噴出した玄武岩の面積は日本の1.5倍

もある)と、その噴出した溶岩が数百 km にわたって、水平に洪水のようにゆるやかに流れたという流動性の良さから命名されている。さらに、このデカンの玄武岩は噴出した時代はちょうど、中生代白亜紀の終わりと次の新生代第三紀の初めの時期にまたがっている。そこからこの地球規模の大噴火が、気候や大気に影響を与えて恐竜やアンモナイトを含む中生代の数多くの生物の絶滅につながったという生物大量絶滅 (mass extinction) の原因としての「火山噴火起源説」が出てくる。1980 年に Alvarez 親子らの隕石衝突説が登場し一世風靡してからは、この「火山説」はやや旗色が悪くなりつつあるもの、未だに強硬にこの説を主張する研究者も複数いる。

現在の火山活動からは想像もつかないこのような大規模な火山活動が地球の歴史で何度か生じている理由はなぜか。世界の火山や岩石の専門家がこの謎に挑んでいる。デカン高原の玄武岩を詳しく調べたある研究によれば、その玄武岩を作ったマグマはマントルが直接溶けて上昇するというメカニズムでは説明できない様々な問題をふくんでいるという。むしろ何らかの地殻物質とりわけ海洋地殻の一部が、マントル内で何らかの原因で大量に溶けて生じたという特徴を含むようである。そうすると膨大な洪水玄武岩をもたらしたのは、海溝部で大陸プレートの地下に沈み込んだ海洋プレートの一部ということになる。熱いマグマを生じさせるためには、海洋の底でたっぷり水を含んだ海洋地殻が必要であったというのは何か皮肉なようにも思える。しかし海嶺から噴き出してはるかに時を越え、やがて海溝下に沈み込んだ岩石がやがてマントル内で再び溶かされて、また地上に戻るといった壮大な話は地球科学における興味深い輪廻物語のようにも思えてくる。

何層にも積み重なった玄武岩の大地を古代の人々が刻んだ石窟寺院の跡がその山中に残されている。狭い谷間の寺院は競うように洪水玄武岩の溶岩を水平に掘って造られている。この谷だけで実に 34 の石窟寺院が残されている。暗い玄武岩をひたすら手で掘りすすんだという寺院の内部の構造、さらに内部の壁には精緻に刻まれた仏像などの像が次から次へと作られた時代ごとに出てくる。まるで古代の宗教空間に迷い込んだようなそのほの暗い空間は、我々の近代文明という垢にまみれた感性を一旦リセットするのにふさわしい空間でもあった。興味深いのはその様式が古代仏教からはじまり、現在全盛となるヒンズー教、さらに極端な苦行禁欲主義をとるジャイナ教へとわずかな場所の違いで変化していくことにある。一体誰が何のためにこのような荘厳な遺跡を残したのか。そしてその遺跡が破壊を免れ現在も静かに残されているのか。インドという国の計りがたい奥深さを感じた瞬間であった。中央のヒンズー教の寺院の中心には、世界をつかさどる破壊の神「シバ神」の彫像があった。思ったほどの荘厳さはなく、像の前でおどけて写真のポーズを撮る地元の少年が印象的であった。今でも恐竜が「火山噴火」で滅んだという説を唱える専門書には、このシバ神像が載せられている。果たして恐竜を絶滅させたのは本当に「シバの神」であったのかどうか？寺院の建立の謎とともに、今日の地球科学の最大の謎の一つがまた深くなっていくのを、その時感じていた。

----- 監視カメラから抜け出した 革命家達は今どこに 国境の河を渡る時 ためらったロバは天国に ----- 詩：菅原卓郎 曲：滝善充 「9mm Parabellum Bullet」 Battle March より

試験に出ない地学 Series 2014 年暖秋 番外編 私の「ミラクルインディア」紀行

インドにはどうしても行かなければならなかった。大陸移動前の Gondwana 大陸の破片と、恐竜を絶滅させた主原因と「火山論者」が唱えるデカン高原の洪水玄武岩を見るまでは死ねないと思っていた。もとより様々な都市伝説は流布していた。3 日滞在すると腹を壊す。電車は屋根まで満員。人を見ると嘔つきと思え。などなど。そのほとんどは当然伝説に過ぎなかった。しかし、この目で見なければ解らなかったものも多い。旅行前の会議ビザ取得のための格闘をやっと終えて、静かに始まった 2 週間の旅行はまさに「ミラクルインディア」そのものであった。インドから帰ってきて、誰にも「イ

ンドどうだった？」と聞かれた。私は「日本にないものがすべてある」「日本が見失ったものがまだ残っている」と答えることにした。

学会3日目、ゴンドワナ大陸の破片の上に広がるハイデラバード市外の花崗岩の地質基盤を訪ねる1日巡検に出た。25億年の時を刻むピンク色の巨晶花崗岩やそれに貫入されたより塩基性の黒いゼノリス（捕獲岩）の構造に感激しながら、デラックスバスで帰途についた。休憩に立ち寄ったレストランとかで地元の人たちに囲まれて一緒に写真を撮られることが多くなる。外国人観光客がまだ珍しい国なのだ。帰りのバスで隣り合った学会ボランティアの男子大学院生に、1時間滔々と人生に関する哲学的自説をインド英語で説かれる。思想と宗教はこの国の血であり肉である。とその時感じた。ホテルに近い新市街には、マイクロソフトのインド法人の巨大な四角いビルと広大な敷地。ゲートの数は優に4つを数えた。別名ITバードの整備された道路を車とリキシャと単車と人が行き交う。しかしこの日までは大学と5つ星ホテルの往復がほとんどで、それほどカルチャーショックを感じていなかった。

学会最終日、半日観光ということで、小さなバスで市のはずれの古い由緒ある城のような砦（Fort）を訪ねたあと、狭い旧市街を巡った。交差点にあらゆる方向から車がリキシャが単車が人が、そして犬や時には牛が迫ってくる。バスの警笛は鳴りっぱなし。見ればバスの扉も開きっぱなし。信号のない交差点に殺到する交通がしかしなぜか、混沌としたまうまく流れていく。

Too many people. Too much traffic-----。しばらく声をのんで交通の行く末をみていて、ふと気づいたことがあった。混沌のなかに流れる不可思議なルール。これと同じものをどこかで読んだことがあった。複雑系の本に書かれていた『自己組織化臨界現象』。私がハイデラバード旧市街でみた交通はまさにこの典型例だった。個々のエージェントは近隣との簡単なルールのみで動きを決定する。しかし全体として、中央制御なしでもシステムの秩序は自発的、かつ低エネルギーで保たれる。私の頭のなかにすでにこの交通システムを計算機で再現するシナリオができ始めていた。

市内に戻るバスはさらに平日午後の旧市街の隘路を警笛とともに巡る。次第にヒジャブや黒いグルカの女性が増えてくる。男は白服白帽が目立ち始める。紛れもなくムスリム地区のまっただ中。これがインドであることを忘れそうな界限。BEEF SHOPの看板を見つけ瞠目。目的の市中心部の4本の塔を巡るときには、コーランを朗詠するサイレンのような音楽があたりの夕暮れに溶け込み始めた。帰りのバスは再び喧騒とした市街を駅に向う。バスの窓にバイク、電化製品、服飾、工具、食器、金属材料、日用雑貨---無限軌道のように、次から次へと物を売る店が続いている。こんな規模の大きな商店街を私は見たことがない。Too many shops. この街にはショッピングモールがほとんどない。対面販売の店ばかりで値札がないので、観光客は買い物に困るようになっている。

最後の5日間、待望のデカン高原の地質巡検に出かけた。英国、米国、イタリア、ドイツ、ブラジル、そして日本の計10名。まず夜行寝台列車で西北へ10時間。駅のプラットフォームにはおきまりの犬まで歩いている。マイクロバスで出かけたのは、3世紀以来数百年にわたり山中に築かれ、そして放置された『エローラ石窟寺院』。洪水玄武岩の溶岩流を切り出して見事な洞窟寺院が刻まれている世界遺産。卑弥呼の時代の古代インドの芸術的な建築に目を眩る。仏教、ヒンズー教、ジャイナ教と狭い空間に多様な宗教遺産が共存している。まさに多様なインド史の見本市のような所。玄武岩に刻まれた在りし日のラーマーヤナの碑文と神々しいシバ神の像に、ここはひよっとするとあの世なのかとほほを思わずつねるような感覚に陥った。

デカン高原の中心部、溶岩流の丘にずらりと風力発電の風車が並び、近くでは田舎の街のたたずまいがずっと続く。Too many people. 祭りの格好をした老若男女が楽しそうに集う。道路際の随所に水道工用の大きな土管が放り出されている。あの「どらえもんとのび太」の仲間たちが1970年代を遊んだ公園に必ず置いてあった土管だ。日本で最近みないと思ってたらちゃんとインドに置いて

あった。

デカン高原の一番重要な溶岩流の露頭で撮った私の写真は、わざわざ高い1眼レフと超広角レンズを持っていったのにほとんど使い物にならなかった。精緻な日本の技術者がISO=12800というおよそ日常生活では使わない高性能な機能を盛り込んだために、勝手に設定を替えた高級カメラはザラザラの1000円で買えるカメラ以下の画像しか残さないただの箱になり果てた。iPhoneが売れて日本のデジカメがなぜ売れないか今度こそよくわかった。

巡検最終日、案内者の女性地質学者がここをぜひ見せたいと1000mの標高差でアラビア湾に屹立するデカン高原の西の端の崖に案内してくれた。残念ながら雨季の最後に計ったようにこの場所だけで強い雨に見舞われた。雲がなければ素晴らしい崖の展望がここから見えるのにと、彼女はまるで自分が悪いかのように落ち込んで申し訳ないと謝った。いえいえ、これでもう一度インドに戻って来なければいけない理由ができましたよ、と私はふとほほ笑んだ。その後バスは渋滞で遅れた時間を取り戻すために、無事に帰れたのが不思議なくらいのクレージーな運転で我々を駅まで届けた。夜行寝台列車はまた歩くような速度でハイデラバードに向け出発した。

帰国便に乗る空港でもひと悶着あった。30kgぎりぎりまで岩石サンプルとハンマー、さらには手作りの電子回路までを詰めた私のバゲッジが空港のセキュリティで疑われた。係員に呼ばれて空港の待合フロアからエレベータで立ち入り制限エリアに直行。バゲッジを開けて説明し疑念を解いた。責任者が疑ってすまなかったと右手を差し出して握手を求めた。パキスタンと戦争状態の国だったことをその時思い出した。

シーユー・ミラクルインディア！

次に来たときにもまた単車の4人乗りに出くわすのだろうか？わずか千円ほどのチップに感動して、わざわざみんなをバスで自分の粗末な家まで運んで家族と合わせてくれた、子供2人を育てるガイドの若者は元気になっているだろうか？そして食べても食べてもまた新しいメニューが出てくるカリー天国の食事はまだ永遠に続くのだろうか-----。（この稿続く）

われは一切万物を遍歴せり、張られたる天則の糸を見んがために。そこにおいて神々は不死に到達し、共通の母胎に向かいて立ち上がりたり。----- 岩波文庫「アタルヴァ・ヴェーダ賛歌」ヴェーナ（見者）の歌より

試験に出ない地学 Series 2014 年木枯らし暖冬編 -アフリカと「蟻塚」の地球科学-

私はこれまでに2度アフリカを訪れた。1度めは2002年、南アフリカの豊富な地下資源の各種鉱山を巡る地質巡検と、そのあとの知人を頼って立ち寄ったザンビア。そして2度めは4年前の夏、まだサッカーワールドカップの余韻も冷めやらぬ南アフリカ再訪。そのいずれでも得がたい体験をしたが、やはりもっとも印象的だったのは動物の住処に人間が車で入って行って、生きた動物の生態を見学するサファリと呼ばれるツアーだった。動物のことはあまりここには書かないが、動物園ではない自然の猛獣たちの息吹をすぐ側で見れたのは、とても貴重かつ感動的な体験だった。夜真っ暗な空に南天の銀河や南十字の星々が架かる下、暗い森の中に現地ガイドのかすかな懐中電灯の光の向こうのインバラの群れのあえかに緑に光る目の色は今も忘れられない。

またアフリカの人々の素朴さにも感動した。ザンビアでは普通に泊まれば1泊300ドルは下らない欧米観光客向けコテージホテルで、我々の世話や夜のツアーの案内をしてくれた親切なホテルの従業員を乗せた、我々の空港に向けた送迎ジープは途中の地元の村で彼を下ろした。村には電灯線もなく、彼が帰って行ったわらぶきの粗末な住居が立ち並ぶだけだった。彼を降ろしたあと村はずれの空港を目指す道すがら、それらの粗末な住居から夕食の支度であろう煙が一斉に立ち昇っていた。その

煙を見てあまりの素朴さに私は思わず涙をこぼした。こんな質素で素朴な生活が営まれているところが世界にはまだたくさんあるのだと。それが私のアフリカの原体験として今も忘れられない。

さて、アフリカでのサファリツアーの折、私の興味はやはり地層や岩石にも向けられた。大陸移動でバラバラになったゴンドワナ大陸の中軸部を構成する花崗岩とその垂流の岩石。そのピンク色の酸化鉄が物語る数10億年の風雨にさらされた年月。そしてその丘から遠望する双眼鏡の視野にひときわ背の高いキリンの首。そして観光客が満載の車を釘付けにしている、道のすぐ側の木陰で休息中のあくびをしているライオンの夫婦----

そんな中でサバンナの各所に、よきによきとまるで人工物のように盛り上がる褐色の土の塔に気がついた。大きいものは人の背丈ほどもある。ガイドに聞くと「蟻塚」だという。土中に生息する数百万匹のシロアリがせっせと地表に土を運び作り上げた彼らの巣なのだという。

ところがこの蟻塚がしばしば地学的话题に出てくる。アリは地下からせっせとこの塔の材料である岩石の粒(鉱物)を運び上げる。ボツワナのダイヤモンド探査のときは、めったに見つからないダイヤモンドではなくガーネット(パイロップ)を含む蟻塚が探されたのだという。パイロップは高压鉱物で、しばしばダイヤモンドの生成する環境下の高压条件で作られる。ダイヤモンドを探すにはまずありふれたパイロップを探せということになる。また蟻塚はしばしば、ジルコンと呼ばれるこれもまた風化に強い硬い鉱物を含んでいる。ジルコンは化学的性質からウランには富むがあまり鉛を含まない。ところがジルコンに含まれたウランは放っておくと、放射性崩壊を経て鉛に変わる。いわば天然の「錬金術師」なのだ。そこでそのジルコンに含まれるウランと鉛の量比を調べることで、まるで砂時計のように、そのジルコンが生成された年代がわかる。また極めて強靱な結晶構造から、とてつもない長い年代を経ても壊れずに砂の中に残される。先カンブリア時代の遠い地球の黎明期の様子が、この蟻塚などのジルコンの研究から分かってきたのだと2002年の鉱山を巡る地質巡検に同行した熱水鉱床の若い研究者から聞いた。

ともあれ、2度めの南アフリカ、クルーガー・ナショナルパークでの地質兼サファリツアーの折、地元ガイドの白人運転手兼地質学の博士号を持つ巡検ガイドのDさんは、我々に動物をより身近に見せようと、ヒュンダイの箱バンの両サイドのドアを開けっ放しで公園内を走行していた。我々は開け放した扉から動物の写真を撮るのに夢中になっていた。ところがそのとき、運悪く通りかかったパトカーに捕まってしまった。我々を停車させたパトカーからゆっくり歩いてきた2人の若い黒人警官が丁寧な英語で、「ここでは動物が飛び込んできて極めてデンジャラスだから、ドアは閉めて走行することが法律で決められている。あなたはその法律に違反した」と言う。我々は運転手の罰金を何とか、まけてもらおうと必死で弁解し交渉したがダメだった。私はそのとき、この白人ガイド氏には悪かったが何とも言えない静かな感動に満たされた。あの悪名高かったアパルトヘイトの撤廃からはや20年。やっと当然のように教育を受けた若い世代の黒人警官が、かつてこの国の支配者であった中年の白人のドライバーに、何のてらいもなく交通違反反則切符を切れる時代がとうとうやってきたのだ！
-- そんな歴史の移り変わりをそのときも蟻塚は背後で無言で静かに眺めていた --

The greatest glory in living lies not in never falling, but in rising every time we fall.----- Nelson Mandela
"Long Walk to Freedom (1995)" より。

試験に出ない地学 Series, 2014年暖秋終了編 ----- 「銀杏 (Ginkgo biloba)」に寄せて

今年の秋は暖秋気味の日々から、突然気温が低下したので、特にここ数年になく紅葉が美しかったように思う。なかでも都市の街路を飾る銀杏の煙のような黄色の色彩パターンは、晩秋の街路の季節感をいやがおうにも高めてくれていた。東京大学もまた東京都も奇しくもロゴマークに銀杏の葉を

採用している。そのルーツは徳川家の家紋にまで遡るとも言われる。

銀杏は「生きた化石」としても名高い。その基本構造ははるかにジュラ紀から変わっていないという。植物分類学的には、イチョウは、一種だけでイチョウ綱、イチョウ目、イチョウ科を構成し、学名は、*Ginkgo biloba* (ギンクゴ ビロバ) となる。元々、ジュラ紀から白亜紀にかけて恐竜の興隆、裸子植物の繁栄とともに一世を風靡し、17種を数えていたのが、被子植物の進化にも押され、第四紀の氷河期に入る170万年前には、現生のただ1種を残して絶滅したとされている。しかし実際の銀杏は1691年に日本で見つかるまで欧米諸国では絶滅したと信じられていた。ところがオランダ商館付の医師として長崎の出島に2年間滞在し、將軍綱吉にも謁見したドイツ人のエンゲルベアト・ケンプファーが、日本滞在ののち、種子を母国に持ち帰り、ヨーロッパで植林。世界に再び広まるきっかけを作ったことは余り知られていない。さらに彼の遺品のうち、日本について書いた『日本誌』はその後の欧州知識人に影響を与え、19世紀ジャポニスムにまで繋がったともいう。

その日本で再発見されたイチョウであるが、他の多くの植物の記載がある「古事記」「古今和歌集」には意外にもその記載がなく、そのことから、日本に中国の一部地域で生き延びていた銀杏が持ち込まれたのは、そのはるかあとの14世紀後半だとも考えられている。現在では都市の風景にかかせない銀杏の並木ではあるが、その由来には興味深い話が多い。

銀杏(ぎんなん)の独特の悪臭と裏腹のその実のほのかな甘さは、たった1種ではるかな地質時代を生き延びてきた植物のどんな凶悪な環境にも耐えぬいた生物としてのロバストネス(強靭さ)とフラジャイル(脆弱さ)の諸刃の剣を示しているのかも知れない。その環境に対するタフネスさは、放射線に対しても示され、広島で被曝した6本のイチョウは、すべてが破壊された風景の中で屹立し、花を咲かせ種子を保ち続け今に至っているという。

植物としては異例の生殖行動も殊更ユニークである。雌雄異株で、初夏に雄花から風で飛ばされた花粉が雌花の胚珠に到達すると、花粉内から2個の精子が泳ぎだし、その1個が卵細胞と受精し、成長して種子となる。精子によって生殖を行うのは裸子植物でもイチョウとソテツ類のみだという。さらにそのユニークな生殖行動の発見者が共に日本人というのも何かの因縁か。それにしても地質時代の進化の妙の真骨頂を保存したまさに「生きた化石」を地でいく不思議な植物でもある。

銀杏の効能としては落ち葉として、地上にたまったときも生きているときも、葉の水分の含有量がほかの落ち葉より格段に多く、火が付きにくいという性質がある。このため昔から寺院や神社を守る杜の木として銀杏が珍重されたとも言われる。1923年の関東地震では、多くのイチョウの木に囲まれた寺院が、地震後の大火の猛威から守られた。また *Ginkgo ability* で検索すると、幾つかの血小板凝集を防止する機能とか、それによる血流促進とかの薬の宣伝も出てくる。さらに葉のエキスはアルツハイマー認知症の対症薬剤として認可されているものも欧州にはあるという。ただ昔から食べ過ぎは子供が中心であるが中毒になるともされ、薬と中毒の両面からの研究がさかんに行われているという。

ともあれ、フライパンで炒っただけの銀杏(ぎんなん)の殻を歯で噛んで開け、中のあつあつの身をほうばるあの幸福感は、まるで恐竜時代の最後の晩餐の再現か、あるいは大絶滅を生きのびてきたしぶとい植物の不思議な遺伝子の味を確かめるようで、地質時代の進化の歴史を内包した和食の素材の素晴らしい一品として推薦したいけどどうかな。

(この稿のモチベーションと内容は毎日新聞余録、広島工業大学 Website, Wikipedia, また <http://www.oregon.gov/odf/urbanforests/docs/featuredtreeginko.pdf> などのネット上の文献に拠った)

--- 「17歳は、星か獣になる季節なんだって。今日、やった英文読解にね、書いてあった。」 --- 最果タヒ『星か獣になる季節』より。

試験にでない地学 Series. 2014 年エルニーニョ梅雨明け編 --- 悪魔の星「アルゴル」パラドックス ---

秋の北天高く、天の川の中にあるペルセウス座の β 星は「アルゴル」と呼ばれている。中世アラビア語の悪魔という意味から来ているという。これはこの星が周期的に1等以上減光するため名付けられたという。この星を最初に仔細に観察したのはイギリスの18歳の少年グッドリック。生まれつき耳や口が不自由だったにもかかわらず彼の星への情熱は周期的なアルゴルの変光の謎を解き明かす。彼はのちに書いた論文で、アルゴルが食変光星であることを予言。やがて1889年スペクトルの周期的な視線速度変化から彼の推測の正しさは証明される。そのやや中央部の浅いM型の光度曲線はアルゴルの伴星が主星の前に立ちふさがり起こす食や、裏側に隠れる運動を見事に表現している。変光のなぞはこうして解けたけれども、新たな謎がすぐに浮かび上がった。20世紀になり、セレンウム・セルなどの新たな測光観測の機器が開発され、これによる詳細な観測の結果、主星、伴星の公転周期、質量や半径といった諸量の決定と同時に、スペクトル型も決定された。これによると主星は、質量が太陽の3.7倍でスペクトルがB8型。伴星が質量0.8倍でスペクトルがK型の準巨星であることがわかった。これがさわぎをもたらす。当時ようやく詳細がつかめ始めた恒星の進化論にこの事実はまったく相反する結果であったからである。

先に進化したはずの星の方が質量が小さいという矛盾。このパラドックスを最初に解き明かしたのは、1955年コパールやクロフォードといった人たちで、昔は伴星の方が大きかったという突拍子もない仮説を唱える。しかし、これがその後のコンピュータによる数値計算で立証された。今ではこれら近接連星における、ロッシュの限界という双方の重力圏を越えた物質の移動の様子が見事に再現されてきているという。まるで手品のような物質のやり取りにより、その姿や大小すら変えていく連星の不思議さに驚く。全天一の明るい恒星シリウスの伴星（白色矮星）の起源もそのように考えられ、エジプトかどこかの記録にかつてはシリウスは赤かったという記述があり、それはこの伴星が赤色巨星の頃を示しているのだという説もあったらしいが、これはやや眉唾だとされている。それにしても、結果として小さな星の方が、先に成長した大きな星を食べてしまいいつしか立場が逆転する。これは弱肉強食が世のならい（グローバリズムともまた「べき乗則」ともいう）の今日にあって、なお、小さな国や組織の生き残る戦略を我々にさし示しているように思えて興味深い。

このように連星にはまだまだ尽きない謎がありそうだが、これらの連星は我々からみて、たまたまその公転方向が我々の視線方向と平行に近かったという偶然がその発見につながっていることを忘れてはならない。それらの偶然発見されている連星以外にもまだまだ我々の知らない様々な形態の連星がその謎を紐解かれる日を待ち望みながら、今日も人知れず空に輝いているのかも知れない。

(この稿、http://www.asj.or.jp/geppou/archive_open/1993/pdf/19930611c.pdfを参考にした。またアルゴルやシリウスに関する興味深い今回の話のきっかけは大阪教育大学の定金晃三先生よりご紹介いただいた)

----- 結局のところ、人は腹を決めるための時間が必要なのだ。「情報が必要だ」というのは実は「時間が必要だ」と言っているだけなのだ。----- 山形浩生「新教義主義宣言」より

試験に出ない地学 Series 2014 年爽快初夏編 ----- 「リチャードソンの夢」 -----

クエーカーとしてまた平和主義者として育ち、英国気象庁に就職したりチャードソンは第一次世界大戦に良心的兵役拒否者として兵士ではなく、戦場から負傷者を運び出す看護兵という形で軍務につきながら、今日の数値予報の元になる考えを練っていた。彼はかつての泥炭中の水の流れをモデル化した経験から、大気をルービックキューブのような直交座標の格子に分割し、その格子点で、気温、風、

気圧などの大気を表す変数を記述し、 $t=0$ の時点の初期値を与えて、あとは有限差分法で Δt 秒後の変数を次々に数値的に解いていくという手法を考えた。この方程式は当時ノルウエイの気象学者ピヤークネスが流体力学を大気に応用する目的で提唱したものであった。

彼は手始めにドイツを中心とした一辺1000kmの正方形の領域を縦横、さらに高さ方向にも5個ずつに分割し1個の格子が200km四方で高さが2~5kmという合計125個の格子を考えた。高さに差があるのは、低い部分で細かく分け、上空に行くほど粗く分けたため、これは上空の気圧の変化に呼応して各格子が同じ重さの空気を含むように配慮したためである。この時期、ピヤークネスからヨーロッパ各地の観測気球のデータをもらった彼は、これを初期値として6時間後の大気変数（とくに気圧）の値を計算しようとした、変数の数は数百もあり、方程式の数も多かったのでその計算は筆算としては桁外れの苦勞であった。しかし彼はそれを軍務の合間の兵士用の宿舎で行なっていたというから驚く。しかも苦勞した計算用紙は戦争の途中で後方に送られたものが一旦紛失し、数か月後に石炭の山の下から見つかるという奇跡まであった。それほど苦勞して計算したにもかかわらずこの計算による気圧の変化は実際の100倍も異なる数値であった。また大気のたった6時間後の計算に6週間に優に要するという有様であった。彼は架空の計算工場を夢見た。それは体育館のような大きなスペースにコンピュータと呼ばれる人々が計算尺を手に、格子の配置で陣取り、中央の指揮者の号令にしがって一斉に計算を実行するという途方もないシステムであった。もちろん人力でこれがなされることはなかった。

その後、リチャードソンの学問の目的は気象学から離れ、紛争の心理学をモデル化するという分野に変わった。元々の彼の平和主義が戦争翼賛へと向う当時の科学界の流れを嫌ったのかも知れない。しかしこの「リチャードソンの夢」はやがて真空管を用いた電気式の計算機によって実現される。しかも彼が嫌った戦争遂行の最たる科学であった最先端の熱核爆発の非線形力学を担った天才ジョン・フォン・ノイマンがそれを推し進める。彼が開発した計算機と原子爆弾の流体力学がその主力であったのは歴史の皮肉である。ピヤークネスが当初計算に使おうとした7つの方程式は、ノイマンが雇った新進気鋭の数学者チャーニーによってたった一つの方程式に置き換えられた。1950年に北米の数値天気予報として実用化され、まだ当時は24時間予報の計算にちょうど24時間かかるという有様であったが、やがてその数年後ついにワシントンDCの暴風を正確に予報し経験に頼る予報官を打ち負かせた。この結果に触発されて当時米国気象庁にいた眞鍋淑郎は同僚のスマゴリンスキーと地球規模の大規模な3次元全球大気モデルの構築に立ち上がる。このモデルはやがて全球結合モデル(Global Coupled Model, GCM)と呼ばれ、現在の気候変動の揺るぎない予測モデルとして「地球温暖化」の予想などに煩雑に使われるようになる。リチャードソンは晩年、マンデルブロの「フラクタル」の発想の基礎となる、海岸線の長さの推定も行った。しかしそれは当時の学会からは無視されたという。学問的には不遇であった早すぎた天才リチャードソンの名は現在ヨーロッパ地球物理学会の榮譽である「リチャードソン・メダル」として残されている。

リチャードソンの夢はこのように今日実現したかに見えるが、実はその初期値の設定において、わずかな初期値の違いが計算結果の著しい発散を招くという「カオス」の発見により、また新しい展開を迎えている。この話もまたいずれ稿を改めて書くことにしたい（この稿、DAVID ORRELL 著「The Future of Everything」を参考にした）。

----- 博士は笑った。「歴史学だけは学ぶな。支配欲に取り憑かれた愚か者による殺戮を、英雄譚にすり替えて美化するからな」----- 『ジェノサイド』高野和明著より

試験に出ない地学 Series 2013年木枯らし編 「大きな数について -地学と経済のふかーい関係、あ

るいは人間原理—」

地学には大きな数字が登場することが多い。例えば地球が誕生したのは46億年前だから、4.6かける10の9乗年。天文学的数字などと言われる宇宙の果てまでの距離は137億光年、kmに直すと1光年はアバウト10の12乗kmだから、宇宙の果ては1.37かける10の24乗kmとなる。一方マイクロな場に目をやると、アボガドロ数は、6.02かける10の23乗となる。

こんな莫大な数は確かに自然科学にはよくでてくるが、さすがに歴史や経済の世界には顔を出さないだろうと思っていたら、驚いた。高安秀樹さんという「経済物理学」という新たな分野を研究する人によると、ハンガリーという国のペngoと呼ばれた通貨の価値が第2次大戦後の1946年、たった1年の間に驚くべき低下をみせ、物価が10の30乗倍、つまり100億の100億のさらに100億倍になったという。ドイツの第1次大戦後のハイパーインフレーションも有名であるが、このハンガリーのインフレは底が抜けている。結局このインフレは金本位制に裏付けられた新たな兌換通貨であるフォリントの導入によってやっと終息する。このハイパーインフレーションの特徴は最初のインフレはマイルドで、物価がきれいな指数関数に沿ってゆっくり上がって行くのだけど、あるところから急に物価の上がり方が極端になる。その上がり方もまた数学できれいに近似できて、指数関数の指数がさらに指数関数で増大するという関数になるという。つまり物価が2倍になるのに最初1ヶ月だったのが、1週間となり、やがて2日で2倍になると加速していくという凄まじいインフレだという。

閑話休題。大きな数の数え方はさすがに中国、インドがすごい。億の上は兆、兆の上は京、さらにその上は一一一恒河沙、阿僧祇、那由他、不可思議、無量大数と続く。華嚴経ではもっと大きな数まで定義されているという。さすがに次のお釈迦様が衆生を救うために56億7千万年のちに現れると豪語する世界だけある。宇宙論の仮説にも大数仮説 large numbers hypothesis というのがある。物理定数から求められる無次元数に10の40乗(またはその2乗)という数が多く現れることにポール・ディラックが1937年に気づいた。

陽子 - 電子間の電磁気力と重力の強さの比

宇宙の年齢と光が陽子の半径を進む時間の比

宇宙に存在する陽子と中性子の数

などがその数になる。これは偶然の一致とは考えられないというのが、ディラックの主張である。さらにこの考えはやがて、この宇宙が創生以来そのような微妙なチューニングを経て「人間を誕生させるために存在する」と考える「人間原理」(Anthropic principle)につながる。これとそのような原理を許さない「宇宙原理」(Cosmological principle)との熾烈な争いについてはまたいずれ――。

こんな膨大な数や、反対に「刹那」のような極小の数と付きあうには指数や対数を考えるしかない。しかしその表現をもってしてもなかなか太刀打ちできないハイパーインフレが人間社会が作り出した市場経済という魔物の関係のなかから出てきたのは、それはそれでとても興味深いと思われるがどうかな？ときあたかも、アベノミクスという新たな打出の小槌が、新しいこの国の経済の潮流を形づくるかに見える。しかしこの流れが本当に実体経済として波及するのか、あるいはかつての「永久機関」のように、単なる幻想に過ぎないのか？自然科学の立場から見ると私にはとても興味深いものに思えてくる。この決着には56億年も要らない。地球温暖化論争と同じでせいぜい10年か20年待てばいいということで、私もまだその時までには生きさせてね。(この稿のインフレの話は「経済物理学の発見」/高安秀樹著、光文社新書などに拠った)

----- 複雑系は分権が進んだ民主主義に似ている。その決定は、局所的に行われた数多くの選択の最終結果なのだ。一方、常微分方程式は独裁政治である。物理システムは中央からの法則に抵抗することなく従う。----- 明日をどこまで計算できるか？「予測する科学」の歴史と可能性/デイビッド・

オレル, 太田他訳, 早川書房より

試験に出ない地学 Series 2013年 ON-OFF 気候の秋編 - 「竜巻研究に命を捧げた無法松の一生」 -

近年, 日本ではそれまで稀であった竜巻による被害が, 関東地方を中心によく報告されるようになった。地球温暖化による異常気象と言うのは簡単であるが, 竜巻の発生原因は未だよくわからないことも多い。その竜巻の本場, 米国で早くから竜巻研究に従事し, 竜巻の大きさを示すFスケールに名前が冠された藤田哲也博士は意外と日本では知られていない。今日は彼の物語をお贈りする。

小倉生まれで玄海育ちと言えば, 古い映画「無法松の一生」でお馴染みのフレーズだったが, 大正9年(1920年)小倉生まれの科学少年が本当に「無法松」のように当時の研究者としては珍しかった在外研究のために, 米国に船出していくのを知って驚いた。

藤田少年は生まれながらの科学少年だった。中学のときは自宅の裏山の原生林に年下の弟と分け入り, 未知の鍾乳洞を発見する。その研究で中学の理科賞を取った彼はやがて印で押したような理系研究者の道を進みはじめる。しかし若くして小学校の教員だった父親と愛情あふれた母親は他界。アルバイトで弟妹を食べさせる傍ら, 苦学してやっと大学の教員としての職を得る。明治専門学校(現九州工科大学)工学科の学生時代は地質学にいそしんだ彼も, 大学教員となって初めての調査依頼で, 長崎の原爆被害の現地調査に赴く。声も出ない惨状の爆心地を巡りながら, 爆発によりなぎ倒された木の分布から, 原子爆弾の爆発高度を推定する論文を書く。そうして少しずつ気象現象に興味を持つようになった彼が, たまたま英文で書いた雷雲の研究の記事に目が止まり, 海外から研究のオファーが舞い込んでくる。

やがて仕事の条件であった博士号を得た彼は, 昭和28年, 彼が33才の年に当時誰も考えなかった, 在外研究の要員として, 航空機の片道切符だけを手に渡米。サンフランシスコに着いた時には持ち金も底をつき, 気の毒に思った日系ホテルの支配人から20ドルを貸してもらう羽目に。それでも苦労の甲斐あってシカゴ大学に席を置き研究に没頭, 次第に気象学の若手研究者として頭角を現していく。

彼が研究テーマに選んだのは竜巻(トルネード)。米国中南部のそれは規模も大きく, 大きな自然災害として常に問題となっていた。机上に留まらず積極的に当時ようやく実用化されはじめた航空機観測にのめり込む。命知らずの彼の飛行機観測で, 次々と竜巻の詳細構造が明らかになり, 竜巻災害の予測の基礎データとして活用されるようになった。その頃, 着陸態勢に入った民間航空機が空港手前で墜落, 多数の死者が出る事故が起こる。当初パイロットの操作ミスが疑われたが, 調査に加わった藤田氏は事故当時上空を覆っていた積乱雲の関与を疑う。その過程で当時まだ知られていなかった「ダウンバースト仮説」を提唱。これを実際に検証するため, またまた観測機上の人となる。ついにはパイロットが嫌がることを説き伏せて, 雷雲の直下のダウンバーストに突入する飛行を敢行。実際にダウンバーストに相当する下降気流を発見する。まさに命知らずの「無法松」の面目躍如である。米国で成功し, 故郷の日本に錦を飾る話もちらほら出始めた1998年, 残念ながら病魔に勝てず他界。享年78才。

彼の気象学の功績は特に米国で広く知られ, 竜巻の大きさを示すFスケールのFは彼の苗字の頭文字から取られた。彼の功績にはアメリカ気象学会応用気象学賞をはじめ多くの賞が贈られた。彼の発見したダウンバーストを未然に予測するため, 気象用ドップラー・レーダーが開発され, 各地の空港に配備された。彼の研究は現在の航空機の安全運航にも大きな貢献をしている。(この稿, 藤田博士の自著「ある気象学者の一生」に拠った)

——弓坂の言葉は風に千切れて, 味村の陽に焼けた耳たぶをかすめて海へ散った—— 「飢餓海峡」
水上勉より

試験に出ない地学 Series 2013 年梅雨明け編 「屋久杉の年輪と太陽面の爆発」

名古屋大学の若い大学院生三宅美沙さんが筆頭筆者の論文「A signature of cosmic-ray increase in ad 774-775 from tree rings in Japan」が Nature に載ったのは、昨年の 6 月。以来このわずか 3 ページの短い論文を巡ってちょっとした騒ぎが世界中を駆け巡っている。

彼女が解析したのは、研究室近くの廊下にどかんと立てかけられた樹齢 2000 年を数える直径 2 m 近い屋久杉の切り株。すでに研究用に多数の刻みが入った時代物の切り株から彼女は新たに角棒を削り出し、0.5mm と薄い年輪の間の材をひたすら薄く削り、かつおぶしのような測定サンプルを作成。複雑な処理を行って炭素だけを取り出したものを指導教官と質量分析器にかけて、数百年分の材の年輪間に含まれる 14C の量を丹念に測定した。その結果、切り株の 774 年から 775 年という奈良時代のなかば頃の年輪の部分から通常の 20 倍の 14C の量の増加率を発見した。この時点で過去の宇宙線の異常照射が疑われた。

論文が出るとすぐ、チューリヒ工科大学の研究者はドイツの木材を用いてこの結果を追試し、この事件が局地的な現象ではなく汎世界的な事件であることを確認。南極のドームフジのボーリングコアからは、同じ年代で 10Be のピークが確かめられた。全地球規模のこの事件が空からの異常な宇宙線照射に関わることがますます確実となった。

問題は宇宙線の増加が一体何に原因するかということだった。最初に超新星爆発説が出たが、現在の天空にたとえば「かに星雲 (1054 年の藤原定家書いた有名な超新星の残骸)」のようなものが残っていないことからこの線は消える。

そのあと、ドイツ中世の修道院にあった戦史のなかに、「776 年に赤い 2 枚の盾が大空を動いて行った」という記述が見つかる。これを低緯度に出現したオーロラの記述だと考えた太陽 X 線の研究者が、太陽フレアから放射される宇宙線量を計算するとこれまで知られている最大の 1859 年のキャリントンフレアの 10 倍ほどの太陽面爆発が生じれば、14C の異常を説明できることがわかった。太陽フレアはサイズと回数関係がきれいな「べき乗則」に乗ることが知られていて、長い年月の間には巨大なフレアが生じて何ら問題はない。しかし現実にはこのような巨大フレアが生じていた可能性を知ると、多くの太陽研究者は大変なショックを受け、その爆発の際の地球環境への影響を推定する研究がにわかに始まっている。

一方、こうした年輪は気候変動の解析でも多用されている。IPCC (気候変動に関する政府間パネル) が第 4 次報告書で人為的 CO₂ 放出を警告することになった、最近 50 年の温暖化は Mann らが、北米杉の年輪の解析から得た、2000 年に及ぶ過去の気温変動のグラフに基づく。これはのちに「ホッケースティック論争」として、IPCC レポートの真偽性が議論されることとなる。

ともあれ、年輪という身近でアナログなデータが質量分析器という最新のハイテク技術とコラボして不思議な太陽の秘密がまた一つ明らかになるうとするのはとても興味深い。古くて新しい「年輪年代学」がその輪の由来のように、ゆっくりと着実に科学を進めていくのが頼もしい。(この稿、大阪教育大学の定金晃三先生に教わった NHKBS 番組コズミックフロント「西暦 775 年のミステリー 宇宙謎の大事件」に拠った)。

---『軍隊は南下し、文化は北上する』という世界史の経験則は、中国でもあてはまった。---「西太后」加藤徹著／中公新書より。

試験に出ない地学 Series 2013 年5月爽快編 「ワインクーラーと冷水コップの水滴の秘密」

本校卒業生で気象学が専門の小西先生に、毎年見せていただく気象の実験に素焼きの鉢に入れた水の温度がガラスのコップに入れた水よりも下がるというものがある。素焼きの鉢の表面からにじみ出

して蒸発する水が気化熱を奪い、水を冷やすのだという。同じ原理で欧州にはワインクーラーというものがあり、しばらく水に浸しておいた素焼きの鉢の中に入れてワインがしばらくすると飲み頃に冷えるのだという。水の気化熱は恐るべし。と思うとともにワインをそのように優雅に冷やして飲む習慣を持つヨーロッパの人々の生活の余裕がうらやましい。

ところが興味深いのは、最近その気化熱の反対に、水蒸気が水に変わるときに放出される潜熱 (latent heat) が逆にコップに入れた冷水の温度を上げるという報告が最新の Physics Today に載った。著者のワシントン大学の Durran & Frierson によると、ふつうの 350ml のアルミ缶のキンキンに冷やした飲み物 (要するにビール!) を空气中に置いて、その表面に 0.1mm 厚で水が凝縮すると缶全体で水の量は 2.9g であり、そのときの潜熱 (要するに発熱量) は、水の 0°C 近傍での凝結熱 (約 600cal/g) から簡単に計算できて、そのアルミ缶飲料の温度を最大で 4.9°C 上昇させる能力があるという。その報告では普通の室温の 25°C から 30°C で湿度が高い条件だと、昇温の割合は上がり、さらに極端な条件、例えば 2003 年 7 月 8 日にサウジアラビアのダーランで観測された気温 43°C、露点 35°C (露点の世界記録らしい!) だと、最初 0°C だったビールは潜熱だけで 5 分間で 9°C にまで温められるという。これらのこの報告は何もビールの昇温だけを取り上げたのではなく、地球の気候における潜熱の重要性、とりわけ熱帯における昇温への寄与を論じているようだ。これらは専門家の間でヒートアップする地球温暖化論争の科学的な根幹にも関わる部分で今後の展開が興味深い。

ともあれ、水というのは大変不思議な物質で、4°C という中途半端な温度で密度が最大になるという謎がある。これは一見たいしたことはないみたいだが、実は物理学に取って大変重要なテーマでその理由はまだ解かれていない。さらに地球上の感覚ではあまり想像しないが、火星の表面のような気圧の低い状態 (約 1/200 気圧) まで考えると、水のふるまいはさらに複雑になり、俗に三重点という温度と圧力のグラフにおける水の状態変化図が書かれる。このような低圧力で低温における水のふるまいの研究はまだ発展途上である。最近ではアモルファス氷という結晶質ではないガラス状の氷が発見されたり、それに関連して低温の水に 2 種類の状態があるのではないかという研究も発表されてきている (鈴木, 2011)。今後水という極めて身近にありふれた物質のさらに面白い性質が明らかになることが期待されている。本稿の参考 URL :

http://www.physicstoday.org/resource/1/phtoad/v66/i4/p74_s1?bypassSSO=1 より

「私は良さ (goodness) の哲学というものをもっています。それは数学はその内に良さをそなえていなければならないということです。」——サイモン・シン著青木訳「フェルマーの最終定理」の中の数学者志村五郎の言葉 (彼とその夭折した同僚谷山豊により提出された志村-谷山予想) > こそがアンドリュー・ワイルズによるフェルマーの最終定理の証明の基となった)。

試験に出ない地学 Series. 2013 年 冬季パイパイ編 「硫化水素とだまし絵, あるいはリスクとクスリ」

硫化水素という物質のイメージはとんでも悪い。ゆで卵が腐った臭いとよく称されるこの有毒ガスは、火山や温泉のガスの主成分として時々起こる遭難事故の原因の筆頭に上げられる。純粋な硫黄には匂いがなく、硫黄の匂いと称されるのはこの硫化水素であることが多い。この匂い、私はかつて一度だけ火山観測のお手伝いに阿蘇山中央火口に行ったことがあったが、二酸化硫黄や硫化水素が主体のきつい火山ガスの臭いにビビる私に、火山観測の大家は「臭いがしてるうちは大丈夫。臭いがしなくなったら脳がやられ初めているから気をつけろ」とこともなげに告げた。その後、自殺のニュースでも取り上げられるなど、数ある化学物質のなかでも悪名を轟かせているこの硫化水素。しかし地球が創生されたころはどうだったかと考えると、むしろこの硫化水素が生命の起源に深く寄与していることがわかってきた。今でも温泉地帯は言うに及ばず、はるか深海の数千メートルの海嶺の熱水噴出孔と言

われる湧き出しの場所に硫化水素を栄養源として生きている硫黄酸化細菌類が知られている。さらにその細菌から始まる食物連鎖が、チューブワーム、シロウリガイなどのコロニーを形成する。この海の様子は実は地球創生のころの海と似ていると考えられ、地球史における生命創生のシナリオとして専門家が数多くの論文を書いている。地球史においては、遊離酸素がほとんど存在しない還元的な海底で、これらの嫌気性のバクテリアや生物からまず進化が始まり、どこかの段階で、酸素を取り込みエネルギーを作るという好気性の生物への急速に転換していった。嫌気性の生物は深海底や地底に忘れ去られたまま、現在を迎えたというシナリオである。

さらに興味深いのは、この硫化水素が微量である場合には、実は生命維持の上で重要な役割を占めていることを実証する研究が生物学の方からたくさん出てきている。いわく腎臓の機能の一部に硫化水素がとても重要な役割を果たすとか、記憶の中樞である脳の部位である海馬の中で硫化水素が重要な役割をしているとかというニュースである。

これらのニュースを聞いて思うのは、毒は極めて少量ではむしろ薬として作用する場合があるという有名な薬理学的経験論や、放射線は微量ではむしろ有用であると主張する（ホルミシス）仮説などである。確かに私の日常の経験でも、猛毒な部位を身体に持つふぐは何であんなに美味なのか？とか梅の芯には青酸があるけど梅自体はとてもおいしいとか、結構日常的に毒と食品の関係を目にするのは多い。福島原発事故以来、ごく微量の放射線はむしろ健康のためになるという主張とそれに真っ向から反対する側の論争もヒートアップしてきた。

これらの議論に特徴的なのは、授業でも言ったようにその種の論争で使用されるデータはノイズレベルぎりぎりで行われた極めて数少ないサンプル数の元に議論されることが多いことである。そのような場合には同じデータを見るときにその見る人の思い込みがすべてを決定する。有名なダマシ絵で、老婆に見えるか、若い娘に見えるかはそのときの気分や見る人の経験や感情が大きく支配するのと同じである。この場合、私たちに重要なのは科学がもたらすデータには、時としてこのようなどちらにも見えるか専門家でも判断が難しい場合があることを十分に認識することだと思っている。データに騙されず、意図的な論争に騙されない感性を育てることもまた、科学教育の重要な目的だと考えるけどどうかな？

日本人はともすれば、毒や危険などの「リスク」に対する感受性に乏しい。1か0かという「リスク」を一滴も許容しない pure で naive なリスク回避論がよく展開される。しかし硫化水素はその毒としての「リスク」がある場合には、生物の起源や生体維持のための「クスリ」へと転換される好例を示しているように思える。毒や危険を問答無用に「リスク」として遠ざけるか、むしろ積極的に「クスリ」として活用をはかるのか。今日はそんなことを考えてみた。

-----The interest to scientists has been in the nonlinearity of the dose-response.

(中略) Again, limited, low-dose poisoning triggers healthy benefits. -----

from "Antifragile" by Nassim N. Taleb

試験に出ない地学 Series. 2012 年寒秋号 - 大航海時代に一世風靡した日本の銀鉱山 -

日本は地下資源に乏しい国だとよく言われるが、かつてはそうではなかった時代がある。種子島に鉄砲を持ち込んだポルトガルが日本に目をつけた一つの理由が、石見銀山を中心とする当時の日本の銀資源であったとされる。島根県の石見地方に銀が発見されたのははるかに鎌倉時代に遡ると言われるが、組織的な開発がなされたのは戦国時代、このあたりを支配した大内氏によるところが大きい。彼が博多の商人と結び中国貿易を独占的に行うなかで、中国で爆発的に増えてきた銀の需要に目をつけたとされる。灰吹き法という独自の銀精練技術の発達は日本の銀産出量を一気に当時の世界の産出

量の1/3にまで増加させた。これにより石見銀山の銀資源ははるかにヨーロッパにまで名を轟かせる。当時の古地図にすでに石見の名が刻まれ、銀の鉱山であることが示されているという。アジア進出をもくろむポルトガルにとって、銀は最高の資源となった。中国の生糸を日本に持ち込み、対価で得られた日本の銀を元手に中国で絹織物や陶磁器、東南アジアで香辛料を買付けヨーロッパに戻るという三角貿易がポルトガルの富を支えた。同時期日本を訪れたフランシスコ・ザビエルは日本に初めてキリスト教を伝えるが、知人への手紙の中で、日本のことを銀の島（プラタレアス群島）と記している。

銀が貴重であるのは今も変わらないが、この頃はまだメキシコの銀鉱山が発見されておらず、日本の銀資源は世界の重要な供給源の1つであったのは意外である。さらに大判、小判などに用いられた佐渡などを中心とする金の産出もこの頃にピークを迎える。日本の金の歴史上の産出量はトータルで実に世界の2%を占めるとも言われる。これは世界に占める日本列島の面積から言っても、十分「黄金の国ジパング」を偲ばせる量だといえないだろうか。しかし、世界的に1:15であった金:銀の取引相場は、なぜか日本では銀の価値が高く1:5であったとされる。いぶし銀という言葉どおり、日本人は金よりもやや控えめな銀の輝きこそ価値を見出したと考えると興味深い。しかしそのため多くの金がこの頃外国に流出したのだという。江戸時代の小判製作用の金もこのようにして流出し、段々と質の粗悪な小判が製造されていった。

さてこの石見の銀はもともと、このあたりで150万年前ころに活動した地下のマグマからの熱水が作用してできた熱水鉱床だと言われる。大山や三瓶山は活火山であり、この頃からの中国地方の日本海側の火山活動を今に伝えている。

私がかつて大学の3年生のとき、島根半島の中央部で地質調査のため、暑い夏休みの3週間を地元の名士の家に泊まらせてもらったことがある。地質調査は石見銀山の岩石よりもさらに古い新生代中新世のグリーンタフと呼ばれる堆積岩と火山岩類を、割り当てられた区画の隅々まで歩いて調べ、地図に記載していくという単純ではあるが過酷なものだった。昼すぎの太陽はとてきつく仕事にならないので、午前中の涼しいうちと、午後遅く太陽が傾いてからが勝負の時間となった。休みの日には山を越えて日本海に泳ぎに行き、誰もいない海岸で歩くほどの深さの海底から湯のみ茶碗ほどの大きさのサザエを採って帰り、民宿で壺焼きにしてもらったこともあった。夏の太陽に焼かれてへとへとになって帰り着くと、泊めてもらっていた家の小学生の娘2人が夏休みの宿題を持って待っていた。夕食が終わると休憩もそこそこに子供たちの宿題の臨時の家庭教師までさせられた。家庭教師が終わると夜はひまなので、遅くまで岩波文庫の「平家物語」を原文で読み通した。そのころのお世話になったこの家の家族や調査の途中で出会った村のひとびとの素朴なおおらかな人柄が忘れられない。そんな山の連なる奥深く、今も当時の面影を残す石見銀山は先頃、見事世界遺産に選出された。日本の銀資源が世界の歴史と意外なところで結びつくのを知ってとても興味深く、また若き日の過酷な地質調査を少し思い出してしまった。（この稿 <http://www.goldxau.com/people/world.html> <http://www.v-museum.pref.shimane.jp/special/vol06/> などに拠った。）

---- 暗い海の上に燃える炎が次第に小さくなるのを見つめながら、マルコはつぶやいた。「この次我々を救ってくれる神は、どのような姿をしているのだろうか」---- 『ユダの覚醒』ジェームズ・コリンズ著／桑田健訳／竹書房文庫の序章より（この小説はマルコポーロの逸話に始まり、シアノバクテリア、ジャンクDNAなど生物・地学の最近の話題が続出する国際陰謀活劇です）

試験に出ない地学 Series 2012年 南米の最貧国ボリビアのリチウム資源騒ぎ

ウユニ塩原は標高約3,700mのボリビア中西部に広がる南北約100km、東西約250km、面積約12,000km²の広大な塩の固まりだという。交通の便は良くないが、観光地としては結構有名であったり

には塩でできた壁やテーブルやベッドを擁するホテルまで建っているという。「アンデス山脈が隆起した際に大量の海水がそのまま山の上に残されることとなった。さらにアルティプレーノは乾燥した気候であったこととウユニ塩原が流出する川を持たなかったことより、近隣の土壤に残された海水由来の塩分もウユニ塩原に集まって干上がることになった。こうして世界でも類を見ない広大な塩原が形成された。」と Wikipedia にはあるがにわかには信じがたい。

ボリビアと言えばフォルクローレの故郷。昔和歌山のさる遊園地の広場でフォルクローレの楽団が演奏するのを何気なく聴いていて、ふと涙がこぼれそうになったのを覚えている。浅黒い肌のインディオの奏者が奏でるケーナのメロディを追ううち、はるか昔のインカの悲しい歴史やら、貧しい故郷の村から、覚えた楽器一つで見ず知らずの外国の地まで出向き、余興の歌を奏でなければなかった彼らの心情やらにふいに心を動かされたのかも知れない。そのとき彼らの売っていた CD を衝動的に買って今でもときどき聴いている。ところがその後 2008 年にノルウェイのオスロに出かけた折り、オスロの雑踏でまたしてもなつかしいフォルクローレが耳に飛び込んできた。同じ楽団だったかは定かではない。それでもその歌声は昔と変わらず、立つ人もまばらな中、またしばし聞き入ってしまった。ぐずる子供をあやしていた彼らの妻とおぼしき女性の前に置かれた皿の中に思わず 10 クローネ銀貨を入れて立ち去ったのを今でも覚えている。

かつてキューバ革命を成し遂げた伝説的英雄チェ・ゲバラが次の革命の場所として乗り込み、そして志なかばで戦いの中で絶命した、そんな南米の最貧国の一つボリビアに、今にわかには騒動が巻き起こってきた。ウユニ塩原が新しい電池の材料としてのリチウム資源の宝庫であり、世界の埋蔵量のおよそ半分を占めると分かったからだ。リチウムはなじみの薄い金属であるが、同じアルカリ金属のナトリウム、カリウムなどとは異なり反応性は低く、むしろアルカリ土類金属のマグネシウムに性質が似るといふ。酸化還元電位が -3.040V と全元素中もっとも低く、電池資源のほか、リチウム塩はうつ病など精神疾患の治療でも用いられるという。先進国は鎊を削り、このウユニ塩原のリチウム資源を虎視眈々と狙っているという。あの物悲しいフォルクローレのメロディを生んだ最貧国が、いつか中東の産油国のようなその稀有な資源を元に豊かな国になれるのかどうか。海水中には無限にあるというリチウム資源の抽出方法との、この最貧国の運命をかけた争いになるのかも知れない。そんな夢のような話とは無縁に今日もまたどこかの国のどこかの街なかで、あのフォルクローレのもの悲しいメロディが都会の喧騒に倦いた人々を魅了し続けていることだけは確かだ――。

――「世界のどこかで誰かが不正な目にあっていたら、いつもそれを感じることができるようになるなさい」エルネスト・チェ・ゲバラ 子供たちにあてた手紙より

試験に出ない地学 Series 2012 年冷涼梅雨編 「なぜジャイアントコーンはあつかましいのか？」

「ブラジルナッツ効果」が専門家に取り上げられたのは 2001 年の Physical Review Letter という雑誌だった。ナッツ缶を開けるといつもブラジルナッツやジャイアントコーンという大きな粒がわがもの顔で表面に居座っているという身近な現象を物理の立場から解析した論文であった。以来、これにまつわる幾つもの研究が出てきた。本来学問というのは身近な現象に隠された謎を解明するというのが目的であったはずが次第に、マクロやマイクロというまるで日常生活とはかけ離れた特殊な空間や時間を扱うことが多くなったことへの反省のようなものが出てきたのか、最近はこの身近な現象を扱った論文がときどき科学雑誌に載るのが興味深い。一昨年も Physical Review という雑誌に「コーヒーリング効果」の論文が載った。コーヒーをこぼすとなぜ、跡に茶色い丸いリングが残るのかというテーマを扱ったものだった。

さて、くだんの「ブラジルナッツ効果」は意外なところで地学と関連する。例えば液状化や土石流

の堆積時の逆級化などである。液状化現象が最初に確認されたのは意外と日が浅く、1964年の新潟地震のときであった。以来地震の度に埋立地などを中心に被害が報告されてきている。水を含んだ砂層が液体のように振る舞うとされるが、礫層などでも生じることがわかってきており、また土中に埋めた構造物が浮き出てくる現象は「ブラジルナッツ効果」などとの関連が指摘されているがまだ細部はよくわかっていない。

土石流の堆積物というのは、扇状地などで一般的に見られる礫岩の地層を形成する。私は2006年、ノルウェイのオスロ近くの地層巡検で、見事な逆級化を示す土石流堆積物の地層を見たことがあり、案内者が確か「ブラジルナッツ効果」と言っていた記憶がある。

ところがこのように身近に見ることが多い「ブラジルナッツ効果」の物理的解釈はまだ諸説林立して定説とはなっていない。扱う粒子数が多すぎて通常の数学解は期待できず、どうしても数値シミュレーションやアナログモデル（実際の粒を用いた実験）中心となり、様々な条件設定が難しいからだと予想される。

専門家でも手を焼くこの種の実験は、むしろ高校生が身近な現象をテーマに進める自由研究で扱うネタにあふれていると思える。そしてそんな中から、専門家も一目置くすばらしい発想の実験や新たなブレイクスルーにつながる発見などができたら面白いなと最近思っている。

— 偉大な同時代人のなかで、ライブニッツひとりだけが、この奇妙に振動する不満の糸の上に丸々とした人差し指をおいた。—— 「史上最大の発明アルゴリズム、現代社会を造りあげた根本原理」 デイヴィッド・パーリンスキ／林訳 早川書房より

試験に出ない地学 Series 2012年金環食の号 「オイルシェールと人工地震」

2002年夏にカナダのアルバータ州でバージェス頁岩や氷河地形、恐竜発掘サイトを巡る旅に出かけたおり、郊外に林立する油田のくみ上げ器械を目にすることが多かった。昔から油田で有名なこのあたりでは現在、油がしみ込んだオイルサンドやオイルシェールが一躍注目を浴びることになった。原油を噴きだすタイプの従来の油田ではなく、砂や頁岩にしみ込んだ重い脂分を何らかの方法で抽出することが可能になると、この地域の地下に世界第2位の埋蔵量をほこる“油田”が隠れていることがわかったからである。熱湯をかけたり、高温の蒸気を吹き付けたりして脂分を分離採取する手法が考案され、さらに最近ではそうして採取した“原油”に水素ガスを注入して軽質化（つまり石油として高級化）する技術も実用の段階に入っている。

それに輪をかけて最近開発が急ピッチなのは、アルバータ州から地続きの北米ノースダコタを中心にした、オイルシェール開発の新しい波である。もともと地下の天然ガス採掘の新技術として登場した水平抗井の掘削と「フラッキング」と言われる水圧破碎法の進展による。地下深部の圧力のかかったオイルシェールを一気に水で粉砕して油分を分離し採取する方法は急速な発展を遂げ、現在では現地はオイルラッシュに湧いているという。低迷する米国経済の救世主として、多くの投資ファンドがハゲタカのようにこの北米の油田騒ぎに便乗しようと躍起となっている。しかし世の中、そうそう甘い話ばかりとはいかない。大量の水を用いるこのフラッキング法はその水の捨て場に困り、環境問題を引き起こそうとしている。さらに通常別の井戸を掘ってこの大量の廃水を地下に注入廃棄しているが、この水が原因であたりに小さな地震が頻発するようになってきたと心配されている。これは油田だけでなく、シェールガスという天然ガスを採取する抗井の周囲でも近年頻繁に地震が起こるようになってきた。もともと北米のこのあたりは自然地震の少ない場所であり、南東には悪名高いニューマドリッド地震帯を控え住民の不安が高まるなど大きな社会問題になろうとしている。

天から有り難くいただいた限りある資源を次の世代のことも考え、ゆっくりと消費し残していこう

とする我々の考え方も、何でもビジネスチャンスと飛びつき、今儲かればいいと結局オーバーシュートしてしまうアメリカの考えにとってもない隔たりを感じてしまうのだが――。

---「インディアンは橋を渡らなかった」由木しげる詩集より

(騎兵隊に追われたインディアンは川に追い詰められた。そこには真新しい近代的な橋。しかし彼らは決して橋を渡らなかった。近代的な文明が作った橋を渡るより、むしろ死を選ぶ。そんなインディアンの高貴な魂にささげた大学寮の先輩の詩集をなぜか思い出した)

試験に出ない地学 Series ラニーニャ寒冬明け編 一 夭折した若き無名の天文学家エレミヤ・ホロックス

今年珍しい天文現象が続く。5月21日の朝一番の金環食が筆頭に挙がるが、その直後の6月8日に金星の太陽面(日面)通過があることはあまり知られていない。日面通過とは惑星が太陽面を通過する現象で、金星では同じ地域の観測では約130年ごとにしか生じない、かなり珍しい天文現象である。

この金星の日面通過を最初に科学的に観測したのが、英国の片田舎の無名の青年エレミヤ・ホロックスである。彼の生まれや詳しい生活などあまり定かではない。一説には貧しい農夫の生まれで、14才の若さでケンブリッジ大学に特待生として進むが、経済的困窮から卒業することなく1635年に大学をやめ、牧師の手伝いになったという。

その彼が天文学に名を残したのは、1639年11月24日に起こった金星の日面通過の詳細な観測であった。元々ケプラーがこの日両者が極めて接近することを予言していたが、彼はケプラーの計算をやり直し、金星が太陽面を通過することを見つけた。予想の日、牧師としての多忙な時間を割いて、望遠鏡に投影板をつけ用紙に太陽を映すようにセット。待ち続けることしばし、日暮れまで30分に迫った午後3時すぎ彼の予想どおり、金星は黒い点として太陽面を静かに通過して行った。彼はこの通過時刻や金星の大きさから、金星軌道がケプラーの法則に従うことを確認。同時に地球と太陽の間の距離を初めて科学的に推測した。推定値は今の値の60%くらいで誤差が大きかったが、本格的な観測天文学の扉が開かれた瞬間であった。彼の金星観測の30分間は英国天文学の幕開けを告げる偉大な30分であると後世呼ばれたという。当時、孤高であったケプラーの法則は誰にも理解されず、唯一彼の偉大さを理解していたこの無名の若者、いわばケプラーからニュートンへの橋渡しを演じた、この天才はしかし神に有り余る才能を嫉妬されたのか、わずか22歳で世を去ってしまう。資料には We know nothing about Horrocks' death beyond the fact that it took place suddenly, on January 3rd 1641.

とあるだけである。

彼の金星の日面通過の観測手法はやがて「トランジット法」として洗練され、その400年後、奇しくもNASAによりKeplerと名付けられた口径1mの望遠鏡を搭載した観測衛星で太陽系外惑星探査に応用された。視野10度角の広角シュミットカメラで30分おきに15万個の恒星の写真を精密なCCDカメラで撮り監視する。遠い恒星の表面を通過する惑星のために生じる、恒星の周期的なわずかな光量の減少を捉えるというこの手法で、打ち上げから3年ちかく、すでに2000個を超える惑星候補が確認されている。その中にはスーパーアースと呼ばれる地球と同じような大きさで、かつ同じような距離で母天体をまわる惑星まで見つかっている。これらの天体に果たして生命は宿っているのか?若きエレミヤの試行錯誤のように、次の天文学の新たな挑戦が今、スタートラインにつこうとしている。――そう考えると私には世間の騒ぐ金環食より、この地味な金星の日面通過の方を人知れず、視てみたいと思っている。

(この稿Web上の文献, Allan Chapman: Jeremiah Horrocks: His Origins and Education, March 1994な

どを参考にした)

----- それはよくある間違いであった。しかしこの日この運転手が犯した間違いは、何億という人々の命を奪い、そして世界の歴史を大きく変えることになる ---- 「歴史は『べき乗則』で動く」マーク・ブキャナン著 / 水谷淳訳 より

試験に出ない地学 Series2011 ラニーニャ冬の陣編 『地層の縞から読み取れること』

地層の縞模様は、葉理や層理と呼ばれる。堆積物の粒径や粒の組成の変化などが縞を形成する。したがってその縞には地層が作られたときの後背地や流速や水深など堆積環境を含む様々な情報が縫い込まれている。また時にはその縞模様は過去の時代の年輪の役目も果たす。

2000年に西オーストラリアの6.2億年前の地層に刻まれていた縞模様を解析したWilliams(2000)はこの年輪のような規則的な縞模様が、それまでの太陽活動の11年周期を記録したものであるという解釈を改め、1日の潮の干満にともなう潮流で作られたと考えた。その大きな周期を小潮一大潮のリズム、また間の細かい縞が当時の1日に対応すると考え、この縞を含む地層をtidal rhythmite(潮汐周期層)と呼んだ。これからわかることは6億年前の1月の長さ(つまり月の公転周期)や1日の長さ(地球の自転周期)がどうなっていたかということ。同じ研究は現在世界各地で始まっていて、例えば私が昨秋、訪れた南アフリカのバーバートン地方にある砂岩のクロスラミナでも同様の研究が行われ、32億年前の1月が18日ほどであったことなどがわかってきている(Ericson, 2008)。

これらの過去の月の長さは月の起源と関係する。月が地球での惑星衝突から生まれたという最新の説によれば、過去の月はもっと地球に近いところにおいて、速い公転速度で回っていた。また地球の自転速度も今とは比べものにならないほど速かった。ここから生じる強い潮汐力は地球に数100mもの潮汐をもたらす、数100kmにもおよぶ潮間帯をもたらしたであろうという。その巨大な潮汐力が原始生命の急速な進化を育んだという予測も立てられている。まさに我々にとっては生まれた頃の月さまである。

さて増田(2005)によれば、京都の木津川の河床の洪水堆積物に人間の出したゴミが多数含まれ、食品包装物の切れ端などに記された製造年月日やバーコードなどから、このゴミの年代が確定するという報告がある。この結果これらの洪水がどれくらいの頻度で生じたかそれによりどれくらいの地層の厚さが堆積するかが解析されるようになったという。しかし面白いことにこの方法で地層の時代を遡れるのは1960年代までだという。それ以前は地層の中に長く保存されるプラスチックなど石油樹脂がなかったのと、人間の出すゴミそのものが少なかったのがその理由だという。人間の活動が川を汚すことで年代が地層に記録されるという変な話が今後いつまで続くのかが期待というかむしろ心配。さすがに人間の出したゴミの縞模様だけは未来に残すのは遠慮したいと思うのだけだ。

(この稿、増田富士雄(2005)『超高分解能層序学:地層から読み取る「年・月・日・時」』を参考にした。)

----- 「空には間違いなく、間違えようもなく、月が二つきれいに並んで浮かんでいる。黄色の月と、緑色の月」 ---- 1Q84 Book1 / 村上春樹著より

試験に出ない地学 Series10月暖秋編 - 「べき乗則」と「ブラックスワン」あるいは「想定外」 -

レバノンの政府の要職を重ねたほどの恵まれた家庭に育ったナシム・タレブは、しかし1975年に始まったバイルート内戦下で、銃弾の飛び交うなか高校に通えず、自宅の地下室にあった大量の本をむさぼり読むしかなかった。パリ大学に進学した彼は数理学と哲学で博士号を取得。しかしなぜかその後トレーダーの道に進む。彼のスタイルは経済学を一切信じず、他のトレーダーとは逆の相場の

張り方に徹底される。そのスタイルである程度の財をなした彼は突然仕事を辞め、作家として転身を図る。彼の *Fooled by Randomness*: 邦題『まぐれ—投資家はなぜ、運を實力と勘違いするのか』とその後の *The Black Swan*: 『ブラック・スワン—不確実性とリスクの本質 [上] [下]』はアメリカでベストセラーとなる。そしてその直後、彼の予言どおり予期せぬ「リーマン・ショック」が世界を襲うと、彼は一躍時代の寵児となった。「ブラック・スワン」つまり黒い白鳥なんて世の中にいるわけがないという予想は、1697年オーストラリアで実際に発見されて見事に裏切られた。彼はそんなことが世の中で起こりっこないと人々が信じる事象は意外と高い確率で生じる可能性があると予見した。その際、彼が用いたのが「べき乗則」である（彼のそれまで市場経済学の主流であった「正規分布」ではなく、もっと裾野の広い「べき分布」で市場変動を捉えようとするアイデアは、以前に本欄で取り上げたベノア・マンデルブロによりすでに気づかれていた）。

実は「べき乗則」が自然科学でもっとも早く確認された分野は地震学である。南カリフォルニアの地震の大きさと個数の関係を調べていたグーテンベルグとリヒターは、サイズの対数と個数の対数を取ると、それがきれいな直線のグラフになることに気付いた。つまり大きな地震はめったに起こらないが、小さな地震はたびたび起こるという関係が、実は両対数グラフできれいな直線になる美しい関係だと気づかれた最初の瞬間だった。以後この法則はG-R則と呼ばれ、地震の起こり方を考える際の唯一の物差しとなった（タレブはこれを経済現象に応用し、めったに起きない巨大な市場のクラッシュも現実には、正規分布を仮定するよりはるかに高い確率で起こりうることを予言したのだ）。

さてこのG-R則を日本列島の地震に適用すると、Mが1下がると個数は約10倍になる。この40年間の日本列島の地震活動ではM8の地震が数個、M6の地震はその100倍近く。またM4の地震はさらにその100倍近くというふうに生じていることがわかる。単純に考えてこの法則が成り立つなら、40年間の10倍の400年の時間を考えると、地震の数は単純にほぼ10倍されるから、グラフはさらに大きいMの方に伸びてM9の地震が数個生じてよいことになる。私も何度となくこのグラフを授業で紹介したが、一度たりとも、だから日本列島にM9が本当に生じるとは思わなかった。どこかに頭のストッパーが働いてそんな大きな地震が日本で発生することはないと信じこんでいたのだ。状況は私だけでなくすべての日本の地震学者がそうであった。先週土曜日、1日をかけて静岡で開かれた日本地震学会の特別シンポジウム『地震学の今を問う』はさながら地震学者の大反省会のようになった。なぜM9が「ブラック・スワン」であることを予見できなかったのか？様々な立場からの発言があった。真摯な反省の言葉が多く聞かれ、地震学者がとてもナイーブでまじめな人が多いということがよくわかった。

翻ってこの「べき乗則」は地震のような自然災害のみならず、タレブの言うように経済現象さらには、歴史学（下記引用）、社会学などにも応用が始まっている。時間を充分長く取れば、様々なけた外れに巨大な現象（システムサイズのカタストロフ）が起きる可能性が生じる。それも慣れ親しんだ正規分布よりもはるかに高い確率でそれは生じる。二度と「想定外」という言葉を言わなくてもすむようにこの「べき乗則」の意味するものをもう一度きちんと勉強し直したいと思っている。

——ソクラテスの哲学者としての最大の業績は、皮肉にも、自分が知った唯一の事柄は自分が何も知らないことだというのを認めたことにある。——「歴史は『べき乗則』で動く」マーク・ブキャナン／水谷淳訳

（以下、Part.2に続く）

Essays on the blank of geoscience exams named
“Shiken ni Denai Chigaku Series (completed version, 2016)”
manuscript+resource Part.1

OKAMOTO Yoshio

Abstract

The essay "Shikenni Denai Tigaku" has been completed as a monument of my final retirement of highschool geoscience teacher. This article includes the essays 2006 to 2016. The purpose of these articles was already written in previous manuscript 10 year ago. Also the evaluation of these essays is left to the reader.

Key Words: geoscience, exclude exam., essay, term examination, high school