

50年間歩んできた地球物理の道*

山 元 龍三郎**

1. はじめに

京都大学理学部地球物理学教室の創立80周年の記念行事が、1999年1月23日に開催された。筆者は、記念行事実行委員会代表の廣田勇教授から要請されて、表題の記念講演を行なった。「天気」の編集委員会のメンバーからのお勧めがあったので、廣田教授の了解を得た上で、講演時に配付した原稿に若干手を加えて、気象学会の会員の皆様にお目にかけることとした。

2. 半世紀の間歩んできた地球物理の道

1948年4月に京都大学理学部地球物理学科に入学した筆者は、昨年の1998年までの50年間、地球物理の道を歩んできたこととなる。1991年3月に定年で退官するまで、京都大学理学部に所属して大学生活を送ってきた。その間、多くの先生方や先輩諸氏のご指導と共に、地球物理学教室の事務官や技官の皆さん、学友諸兄・後輩や学生諸君のご厚意や友情に支えられて、幸いにも半世紀の間、地球物理の道を歩み続けることができた。

筆者よりも長い期間、地球物理の道を歩んで来られた先輩が少なからず居られる前で、筆者自身とその周辺の話をするのは勇気が必要である。しかし、卒業生の一人が送ってきた研究生生活のお話をすることが、地球物理の道を現在歩みつつある若い人々に、少しでも刺激を与えることになれば喜ばしいことだと思い、創立記念実行委員会からの講演要請を承諾した。

1918年の創立以来、京都大学地球物理学教室は、80歳の傘寿を迎えた。教室の年齢の約六割に当たる期間の間に筆者の経験したことが、走馬灯のように想い出

される。数少ない満足感の思い出をかき消すように、多くの場面での自分自身の至らなさに対する不満や心残りの記憶が沸き上がってくる。しかし、重ねてきた馬齢のお蔭で、これも神ならぬ人間の生き方の証拠だと割り切れるようになった。

本日は、主に研究活動に関係したことに焦点を当ててお話する。大学を定年退官してからも、若い頃の自然現象に対する好奇心を呼び起こして、自然探究の日々を過ごしたいと心掛けているからである。最近のパソコンとその周辺機器の普及のために、いわゆるSOHOの構築が可能となり、さらに、多量の観測データをCD-ROMなどとして入手・処理することが容易になった。定年退官以後は、何らの責務を背負うことなく、自己の自然現象に対する好奇心のおもむくまま、また、成果の見通しを無理に設定する必要もなく、自由に自然探究に没頭できるようになった。

ここでは、半世紀にわたる走馬灯の各場面を万遍なくお話することは断念して、主として私が地球物理の道を歩み始めた学生時代とその半世紀後の最近に、焦点を当てることとする。

3. 入学—Brilliant Eight Students

第二次世界大戦の後遺症がまだ生々しく残っている1948年(昭和23年)4月に、筆者ら8名が京都大学理学部地球物理学科(旧制)に入学した。新入生歓迎会が教室主催で開かれたが、当時の教室主任の故滑川忠夫先生からの歓迎の辞が思い出される。『8という数字は気象学では大変に縁起がよく、J. Bjerknesのbrilliant eight pagesがその例であり、諸君がbrilliant eight studentsとして大成することを期待する』というものであった。このeight pagesは、現在では忘れ去られようとしているが、温帯低気圧に関する極前線論を初めて提唱したJ. Bjerknes(1919)の論文のことで

* A 50-year career in geophysical science.

** Ryoaburo Yamamoto, 京都大学名誉教授
財団法人日本気象協会.

© 1999 日本気象学会

5. 大学院生時代 (1) 一遊び心の欠如

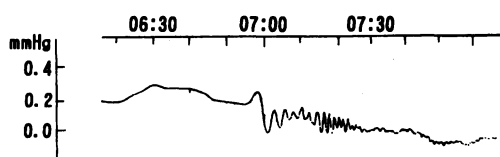
微気圧計には、時々、周期が10分程度の非常に規則正しい周期的振動が記録される。英国でも同様に観測されていて、不連続面での Kelvin-Helmholtz 波だろうと推測されていた。他方、現在 Brunt-Väisälä の振動数として知られているものが、この気圧振動と同じ振動数範囲を占めていることを、Brunt (1927) が指摘していた。1951年に大学院へ進学した私は、この問題を観測により解明するために、故田中耕三郎技官の献身的な協力を得て、ラジオゾンデのルーチン観測を始めたばかりの和歌山県潮岬測候所を中心にして、微気圧計の3点観測を実施した。この気圧振動の正体の解明のためには、1点観測で得られる振動周期だけでは不十分であり、伝播速度の観測が不可欠だとの故滑川先生の指摘により、大変に手数を要する3地点での連続観測を開始した。

研究対象の気圧波の出現時には、不連続面とみなせる状況がラジオゾンデ観測データで認められることが多かった。Kelvin-Helmholtz 波だとしても、理論的に可能な種々の周期の中から特定周期が卓越する事実について、その根拠を解明する必要があった。筆者は、波動のエネルギーが下層大気にトラップされるとの条件下で、エネルギー量が一定の波動のうち、最大の気圧振動を引き起こすモード、すなわち、気圧効率の最大のモードが卓越するとの仮説を設定した。このアプローチは、それなりに当面の問題解決に功を奏した。しかし、後から振り返ると、この仮説にとらわれたことが大きい反省材料でもあった。

筆者は、エネルギーが下層大気から上層へ散逸するような波動を、気圧波の原因とはなり難いと考えて、考察から除外した。他方、筆者の排除したモードについて、カナダの C. O. Hines (1960) は、上層大気の擾乱のエネルギー供給として重要な役割を演じていることを示し、上層大気の研究に新風を吹き込んだ。

指導教官の与えたテーマに無我夢中になっている学生に対して、時には脇見をするようにと勧告することは、指導教官に対して無理な注文である。しかし、私は、学生諸君が、自己の遊び心のおもむくままに、稀には指向しているものとは逆方向にひそかに想いを馳せて「天の邪鬼」になることも、望ましいと思った。私は、学生諸君を指導する立場に立つようになってから「多くの人が見つめているのとは逆方向を見ると、興味あるものが見つかるかも知れないよ」と話をしたことを思い出す。

27 March 1954 at Shionomisaki



第2図 1954年3月27日の潮岬での志田式微気圧計の記録。水爆実験による気圧振動の発見の契機となった気圧振動(山元, 1954)。

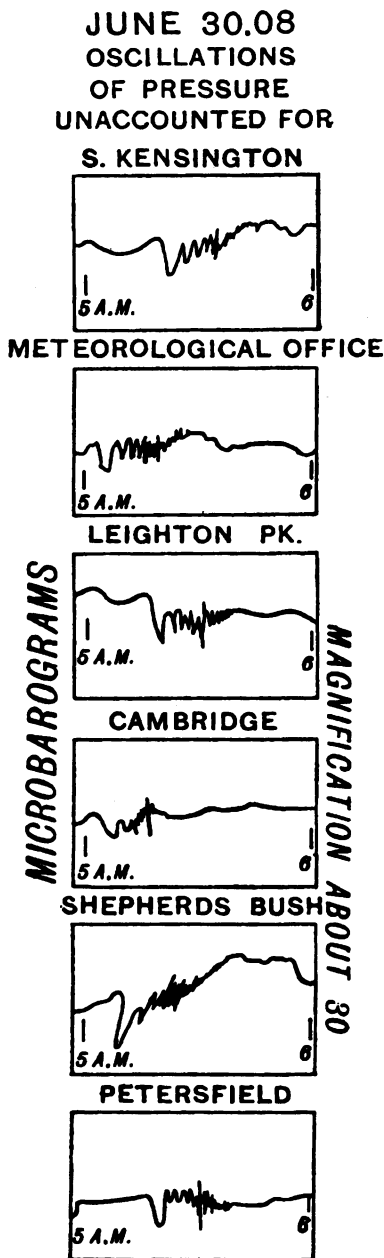
6. 大学院生時代 (2) 一思い切った仮説

筆者は、微気圧計観測の維持のために、5年の間、毎月1回潮岬へ出掛けて1週間滞在という生活を送った。微気圧計には様々な気圧変化が記録されるが、筆者の潮岬滞在中の1954年3月27日の朝7時頃に記録された波形は、今まで見たことのないものであった(第2図)。帰洛して滑川先生に報告したところ、F. J. W. Whipple (1930) の論文を教示された。この論文は、1908年に英国の微気圧計で記録されたが原因不明だとして Napier Shaw が注目していた気圧振動について、その原因を論じたものであった(第3図)。Whipple は、地震波の記録を参考にして、問題の気圧振動がシベリアの大隕石落下によるものだと結論した。

波形の類似性のみを根拠として、上述の振動を大爆発によるものと断定することに、私は若干のためらいを抱いたが、とにかくマーシャル群島での水爆実験によるとの仮説の下に解析を進めることとした。この仮説と矛盾しないような振動発現時刻の分布が、各地の自記気圧計の記録の調査により確認できた。また、その後、朝7時頃に同様な振動を度々記録した。このような時刻にこのような波形の振動を頻繁に引き起こす原因が、自然現象では思いつかないので、水爆実験のような人為的原因仮説が一層有力になった。さらに、気圧振動観測の日時に対応する水爆実験の報道が度々あり、当初おそろおそろ設定した仮説を裏付ける事実が集積した(山元, 1954)。なお、この研究の後日談は、執筆を依頼されて一昨年の「京大広報」に書いたので、付録2として末尾に再録している。

7. 気候変動実験施設の時代—素朴な疑問

気象学講座付属の気象学特別研究所は、1926年(大正15年)の創立以来50年以上の間、鴨川のほとりの京都府立植物園北西隅にあったが、1980年(昭和55年)に都合により市内山科区の花山天文台敷地内へ移転し



Reproduced from
Whipple (1930)

第3図 1908年6月30日の英国各地でのShaw式微気圧計の記録。Shawが原因不明だとして注目し、後日にWhipple (1930)がシベリア大隕石落下によるものと結論した気圧振動。

た。そして、翌1981年(昭和56年)に理学部附属気候変動実験施設となって、1名ずつの教授と助教授の定員がつけられた。筆者は、定年退官までの10年間で、都会の雑踏のあまり及ばない東山の山中のこの実験施設で気候変動の研究に従事できることとなった。

気候変動の研究に乗り出す際に、筆者が特に留意したことは、結果の信頼度の確認であった。物理や化学では、実験結果の確認の際、誤差の範囲を提示することは常識である。他方、気候変動のそれまでの研究では、誤差範囲を指示するなどの信頼度の明示は、ほとんど見掛けなかった。その原因は、誤差範囲の算定の困難さであったかも知れないが、誤差に配慮しない研究態度は、筆者には誠に不可思議に思われた。

例えば、信頼区間を明示した $+0.2 \pm 0.1 (^{\circ}\text{C}/100\text{年})$ という結果は昇温を示している。他方、 $+0.2 (^{\circ}\text{C}/100\text{年})$ は、誤差の大きさが 0.2°C 以上かも知れないので、無意味である。さらに例を挙げると、2つの変量の間の相関係数の計算値がたとえ同じであっても、FisherのZ変換を用いれば容易に計算できるように、sample sizeに依存して有意な相関の範囲が異なる。例えば、sample sizeが28と16の2つの場合では、相関係数の計算値0.5に対する95%の信頼区間は、それぞれ、 $0.15 \sim 0.74$ と $-0.01 \sim 0.80$ となる。従って28のsample sizeの場合には有意な相関の存在を確認できるが、16の場合には相関の有意性は確認できない。

筆者らは、このような誤差範囲を具体的に算定するための道具立てを、整備しようとした。その一つが気候ノイズの導入である。月平均気温を算定する際、例えば、当該月の上旬に数日程度の高温が発現したために、例年よりも高い月平均気温が算定されたとする。この数日程度の高温期が、前月の下旬に起こらないで当該の月に発現したことは、全く偶然だと見られる。この偶然性は、大気のカオスとしての振る舞いに起因するものである。この偶然性のために、月平均地上気温の計算値が 1°C 程度の曖昧さを包蔵する事が、中緯度では普通であり、これが気候ノイズである。月平均値が過去30年間に経験しなかったような異常値の場合を、一般に「異常気象」と呼ぶのが習慣である(例えば、和達清夫, 1993)。この場合、暗黙の了解として、平年偏差が気候ノイズを凌駕していることに対応させている。

このような基礎的考察は地味なものであるが、地球規模の気候変動の理解には不可欠である。例えば「二酸化炭素などの温室効果気体の増加に伴う地球温暖化

が叫ばれているにもかかわらず、ある地域では、度々冷夏に見舞われていて温暖化の気配が見られないが、どうしてか？」というような素朴な疑問に対して、この気候ノイズを持ち出すことにより対応できる。筆者の算定によると、気候ノイズの大きさは京都の年平均気温に対して約 0.7°C であるが、北半球平均気温の30年平均値のノイズは 0.05°C である。これらの値よりも小さい気候シグナルは、ノイズに埋没してしまって検出できない。これが、半球規模のデータにおいて検出される温暖化が、局地的データで見られないことがある所以である。

8. Retiree 時代 (1) 一更なる仮説

1970年代から盛んになった地球規模の気候変動の研究では、地球温暖化問題が多く研究者により取り上げられ、大気中の二酸化炭素の年間1%程度の増加に起因したゆるやかな変化に関心が集中した。還暦を過ぎた頃から、筆者が特別に興味を抱くようになった問題は、集中豪雨のような極端に激しい気象現象の長期変化であった。その動機は、英国王立気象学会の機関誌 *Weather* 誌上の一つの論文(Potts, 1982)を読んだことにあった。この論文の趣旨は『England 南部の Sussex 地方で、観測データから計算した1000年の再現期間の日降水量を凌駕する強い雨が、10か月間に4回も発現した』というのであった。筆者は、この内容を統計が嘘をつく典型例だと思い、Sussex paradox と呼ぶことにした。しかし、これは、「集中豪雨のような極端現象の長期変化が未解決の問題である」ことの証左であった。

1か所の観測所では100年間に2~3回しか発現しない稀な現象について、その長期変化の実態を、高々100年程度のデータの解析により把握しようというのは、本来無理な注文である。

国際的な自然災害の統計結果の中に、洪水災害の長期的増加傾向を示唆するものが認められた。災害増加は、人間社会が変化して自然災害に対する脆弱性がひどくなったことが主な原因かも知れないとの思いも、筆者の頭に浮かんだ。しかし、洪水を引き起こすような記録的集中豪雨が激化していないと結論した研究も見当たらなかった。筆者達は、集中豪雨の長期的激化の問題に取り組む手法について種々の角度から検討した。結局、この長期変化の問題の切り口として、日降水量の年最大値の100年間のデータを取上げ、複数の観測所について解析することとした。

極値データの統計は、通常の釣鐘型の Gauss 分布に従わないで、大きい値の方へ裾が広がっているいわゆる Gumbel 分布に従う。従って、Gauss 分布を前提として導かれた統計手法の中には、この問題に適用できないものもある。その上、発現頻度がそれほど多くないから、通常の統計解析では有意な結果を得ることが覚束ない。sample size を大きくするために、複数の観測所のデータを1つの sample に統合するなどの手法も考えられたが、この手法も降水特性の場所による多様性のために容易ではない。

1993年に岩嶋樹也君と筆者は、数十か所の長期間データに関して次の作業仮説を設定した。『複数の観測所を含む地域において、記録的な激しさが長期的に増加(減少)している場合には、各観測所における最大値の発現時期の頻度は、時間的に増加(減少)する。逆もまた正しい』。この作業仮説の適用のために、北海道から九州にわたる全国の55か所の観測所のデータのそれぞれについて、日降水量の100年間最大値の発現時期の頻度分布を調べた。頻度分布の結果は、1930年代を境にしてジャンプ的に増加していた。

この結果は、上記の作業仮説によると、記録的な集中豪雨の激化を示すことになる。しかし、確定的な結論に辿り着くには、何らかの方法により、この作業仮説の正当性を確かめると共に、頻度変化の有意性の判定基準を作ることが必要であった。

9. Retiree 時代 (2) 一信頼度確認への執着

筆者の大学退職の頃から、パソコンとその周辺機器が普及したので、いわゆる SOHO の構築が容易になってきた。自宅にパソコンシステムを備えつけた筆者は、これを利用して、乱数を用いて偶然現象の経過を再現する手法、いわゆる Monte Carlo simulation を行い、上述の作業仮説の正当性の確認などを試みた。

この simulation の実施は、解析に用いたデータの相互の独立性が前提となっている。時間的にも空間的にもスケールの小さい集中豪雨を反映している観測データは、時間的にも空間的にも相互に独立だとみなせるので、乱数の時系列による simulation が適合する筈だと考えた。

Monte Carlo simulation により、上述の作業仮説の正当性を確認すると共に、最大値の頻度分布の有意性の判定基準も確認できた。そして、最大値の頻度分布から記録的集中豪雨の激化傾向を、再現期間によって表示する方法も作り出せた。日本の日降水量について

は、1930年代以前の観測データから決定された再現期間50年の日降水量の値が、それ以降では8乃至25年の再現期間に対応するという結果を得た。

また、Monte Carlo simulation は、Sussex paradox の解釈についても、有力な情報を提供してくれた。1か所の100年間のデータから再現期間を求める場合、再現期間50年の降水強度の95%の信頼区間は、再現期間100年のそれと重複するので、両者の識別ができない。この結果は、再現期間の算定時の曖昧さを考慮すると、起こって然るべきことである。他方、10か所の観測点から成る観測網において、10か所の中の何処かで起こる再現期間を算定する場合には、50年再現期間の強度と100年期間のものとは識別は可能となることが明らかになった。解析結果の信頼度に対する筆者の執着が、Sussex paradox の解釈をもたらした。

10. 測地学審議会委員の頃—Small Science

筆者の歩んできた地球物理の道では、筆者が念願していた自然探究だけではなく、立場上やむを得ず種々の委員会で時間を費やす場面も多々あった。特に大学在職の後半では、毎週のように東京へ出掛けた。当初の数年間の目的は、気候変動の国際協同研究を軌道に乗せるため、学術会議での討議を経て政府への勧告の総会決議をとりつけることであった。この総会決議による勧告の後の文部省測地学審議会の審議の道も、決して平坦ではなかった。20年程前に、故長谷川万吉先生が、国際地球観測年(IGY)への参加のために、また、自然災害研究を文部省科学研究費の枠内で推進するために、非常に努力されたことを見聞していたので、その御様子を偲びながら、難航する官僚との交渉をなんとかやりおこせた。気候変動の全国規模の研究が実際に発足できたのは、測地学審議会の審議を経て1986年に関係省庁へ建議されてからである。

測地学審議会は、地震予知研究計画を初めとした地球物理学関連の Big Science の推進を関係省庁へ建議し、日本の地球物理学の各分野の発展に大きい役割を果たしてきた。他方、Big Science の膨大な予算の影になって、予算面で苦渋を味わった Small Science の少なくない研究者について、筆者は見聞する機会があった。

その結果、筆者は、Small Science の存在意義とその重要性に関心を持つこととなった。US. Geological Survey の Bent Dalrymple (1990) が、米国地球物理学連合 (AGU) の会長として、Small Science の実績

と重要性に関する講演を行なったことを知り、これが各国共通の問題であるとの認識を深めた。

科学の進歩における Big Science の実績は、国際的にも衆知のことである。他方、Big Science の成果を取り入れて輝かしい業績を挙げた Small Science の例の幾つかを、Dalrymple が挙げている。彼の取り上げなかった事例として筆者の頭に浮かぶのは、成層圏オゾン研究の進展である。

1970年頃に超音速機 SST (Supersonic Stratospheric Transport aircraft) の開発計画が持ち上がり、英仏の Concorde や旧ソ連の TU-144 が建造されることとなった。他方、米国では連邦政府財政の厳しいことの他、成層圏大気汚染の心配があるとして、Boeing 社の SST 建造計画援助が上院で否決された。その代わりに CIAP (Climate Impact Assessment Program) 委員会が設置され、2年間にわたる成層圏の研究が大々的に行なわれた。この Big Science の CIAP には米国以外の日本を含めた諸外国の科学者も参加し、その成果は膨大な報告書として発表された。この CIAP プロジェクトにより成層圏の研究が著しく進んだことは衆知である。

CIAP では、窒素酸化物などの成層圏オゾンへの影響は詳しく研究されたが、塩素などのハロゲン系の物質の作用は、この Big Science プロジェクトの調査対象とされていなかったのも、報告書ではあまり触れられなかった。しかし、CIAP の終了直後の1974年に、フロンガスの影響が急にクローズアップされ始めた(島崎達夫, 1989)。CIAP により解明された成層圏の状況を詳しく検討した M. J. Molina & F. S. Rowland (1995年度のノーベル化学賞を受賞) は、1974年に、成層圏でのフロンガスの分解により生じた塩素の触媒作用が、成層圏オゾンを多量に破壊する可能性を指摘した。彼らの説の構築の基礎資料の一つとなったのは、フロンガスの成層圏への系統的拡散を示唆した E. Lovelock の研究である。彼は Gaia 説の提唱者として著名であるが、フロンの濃度が、使用の少ない海上と多量使用の陸上とを通じてほぼ一様という事実を、Lovelock がほとんど一人で実施した研究により明らかにしていた。

南極観測の一部として行なわれていた昭和基地での成層圏オゾン観測に従事していた気象庁付属気象研究所の忠鉢繁氏は、1982年の春のオゾン濃度のデータが異常に低いことに気づいて、1984年に発表した。この異常値を考慮した英国の J. C. Farmer 達が、翌1985年

にオゾン・ホール仮説を提案し、成層圏オゾン研究が新しい段階を迎えた。

これは、CIAP や南極観測という Big Science の成果を契機に芽吹き始めた蕾が、Small Science の研究者の手により開花した例である。Small Science と Big Science とが、両々相まって、自然科学の進歩に貢献してきた例は少なくない。

12. 仮説の設定—そのトライの勤め

筆者も研究活動の途上で度々試みてきた仮説の設定は、上述したように、近年の科学の発展においても重要であった。最近、芥川賞作家丸谷才一氏（1999）の「仮説の設定」に関する印刷されたインタビューでの発言を読み、理系の人々の注意を喚起したいと思ったので、出版社の許可を得て、その一部を再録する。以下の括弧内は、同氏の発言である。

「……どんな定説であろうが、最初は仮説です。仮説をたてて、それでだめだったら自分で捨てればいいし、自分で捨てなくても世界が捨ててくれる（笑）。

とにかく最初に仮説をたてるという冒険をしなければ、事柄が進まない。直観と想像力を使って仮説をたてること、これは大変に大事なことです。

同時に、仮説を立てるにあたっては、大胆であること。びくびく、おどおどしては駄目です。同じ仮説なら、みんながアッと驚くようなものをたてたほうがいい。学者的手堅さよりも、むしろ芸術家的奔放さのほうが大事だと思う。

自分の直観と想像力を信頼するのが大事で、実証主義に遠慮してはならない。もちろん実証も大事だけれども、それに「主義」がつくと、単なる臆病、あるいは前にお話した学問的官僚主義に陥ってしまう……」。

作家かつ文芸評論家である丸谷才一氏の発言は、理科系のものでも耳を傾けたくなるものである。

13. おわりに

最近、筆者が読んだ数学者 John Von Neumann の伝記（マクレイ、1998）では、彼の大きい足跡の数々が描かれている。彼の巨大な象のような足跡に比べると、筆者の足跡は、地球物理の道を半世紀にわたって歩んできたとはいえ、砂粒で見え隠れする蟻の跡ではない。

科学の発展における Big Science の貢献は、疑問の余地はない。半世紀の間、地球物理学の道を歩んできた筆者の頭の中では、科学の発展には Big Science と

Small Science の調和が不可欠だとの思いが強い。過去の多くの実例は、Small Scienceこそ大胆な仮説の産みの親であることを示している。Small Science の研究者が、引続いて誇りをもって精進されることを、切に願う次第である。

謝 辞

京都大学地球物理学教室創立80周年記念行事の一部としての筆者の講演内容が、部分的な改訂を経て「天気」に掲載されることになったのは、次の各氏や委員会のご好意によることを記して、謝意としたい。「天気」へ投稿するようにと筆者に勧告された神沢 博「天気」編集委員、「天気」への投稿を許可された創立80周年記念行事実行委員会廣田 勇代表、故志田 順教授に関する資料を筆者に快く教示・提供された小澤泉夫先生（京都大学名誉教授）及び竹本修三教授（京都大学大学院地球物理学教室）、京大広報に掲載の筆者の「随想」の転載を快諾された京都大学広報委員会。さらに、丸谷才一氏の印刷された発言の一部転載を許可された（株）文芸春秋出版局「本の話」の編集部（村上和宏氏担当）と丸谷才一氏に感謝の意を表したい。

付録 1 志田 順（しだ とし）のプロフィール

1876年に千葉県佐倉町で誕生、1936年京都市で享年60歳で逝去、墓は相国寺にある。1901年東京帝国大学物理学科（指導は長岡半太郎）を卒業後、広島高等師範学校講師や第一高等学校教授を経て、1909年に京都帝国大学理工科大学に赴任して、震災予防調査会上賀茂地震観測所跡で傾斜計や地震計による観測を開始すると共に、地球潮汐や地震の研究に着手した（地学団体研究会、1996）。

地震のP波初動の向きが4象限に分布することを早くから気づいて、志田は、その規則性の仮説を設定していたが、この仮説を裏付ける十分な資料の収集に時間をかけ、自信をもって定説として発表したのは1917年のことであった。また、地震は薄い地殻の中で起こるとの当時の通説に対して、志田は、300キロ以上の深さで発現するいわゆる深発地震の存在に気づいていた。仮説の域を脱して定説としてこれを主張できる程度の資料整備に、かなりの時間をかけたので、発表が遅れていた。結果の一部は、1924年の別府の地球物理研究所の開所式の挨拶の中で触れている。その挨拶の内容は別府研究所刊行の「地球物理」の第1巻、第1号（1937年）に印刷されているが、論文として発表

されたのは1926年であった。和達清夫による深発地震の研究の集大成は1928年に発表された。これらの研究の経過の詳細は、志田の講話（1921）や回顧（1929）及び小沢（1998）に記述されている。

志田の関心は、大気現象にも及んでいた。上述した微気圧計の製作・観測の他に、台湾の阿里山の紅桧の年輪に現れた成長率の1000年以上にわたるデータを解析して気候変動を論じた（志田，1935年）。

付録 2 隕石、波および ENIAC

（京大広報，No. 510 [1997年2月] より転載）

若い頃の経験を思い起こすと、落語の三題噺のように、表題の3つの言葉が浮かんでくる。

私が1908年のシベリア大隕石落下について知ったのは京都大学大学院在学中のことであった。当時私は気圧の微細変化を観測していたが、1954年3月に奇妙な波形の観測に気づいた。これを指導教官の故滑川忠夫教授に報告したところ、英国気象局長のショウ卿が原因不明の変化として著書に記していたものと波形がよく似ているので、文献を調べるように指示された。

ショウ局長の原因不明とした波形の正体が判明したのは、彼が気づいてから20年以上も経過した1930年のことであった。彼の教え子のホイップル博士が、地震計記録と照合して調査した結果、シベリアのバイカル湖近くで発生して、英国までの約7500キロの距離を伝播してきた大気の波だと結論した。その場所では1908年6月30日にマグニチュード5規模の地震があり、約2000平方キロの森林がなぎ倒された。大隕石落下の衝撃で大気の波が発生したに違いないとの結論であった。

私が1954年3月に気づいた波形は、シベリア大隕石によるものと非常に類似していたので、爆発が原因だと推測した。その後も立て続けに観測され、結局、太平洋での米国の水爆実験による大気波動だと結論できた。この大気波動の波形の検討が、世界初のデジタル電子計算機とのかかわり合いを生んだ。

英国で観測されたシベリア大隕石落下による大気波動の周期は2乃至30分である。その他に、当時の器械では周期を確定できないほどの短い周期の振動が記録されていたが、これは地震動によるものだというのがショウ局長の解釈であった。この解釈を支持する理論が、ENIACを利用して組み立てられた。

大衝撃による大気運動のうちで数千キロの遠方にまで伝播するものは、大気の重力波である。その波動理

論に合流型超幾何方程式と呼ばれる微分方程式が現れるが、これを解析的に解くことが困難である。ENIACを利用してこの方程式を数値的に解いたのが、イスラエルのワイズマン研究所のベケリス教授である。彼は、高さと共に気温の低下する対流圏が約10キロの高度まで存在し、その上に気温一定の成層圏が無限大の高さまで広がっているという大気モデルを設定して、計算を進めた。彼は、遠距離まで伝播しうるのは2分よりも長い周期の波に限られ、短い周期の波は伝播途中で減衰して遠くまで到達しないとの結論を得て、1948年のフィジカル・レビュー誌に発表した。

しかし、私は、水爆実験の際の波形について1分程度の短周期を確認し、ベケリスの大気モデルを修正して彼の理論の改善の必要性を認識した。気温一様の成層圏の代わりに、高度と共に気温の上昇する気層を30キロから50キロまで挿入することにより、1分程度の短周期の波の長距離伝播が可能となることが、定性的考察から示唆された。

しかし、当時、私たちはENIACのようなデジタル計算機を自由に利用できなかったので、思い切った近似をほどこしてベケリス理論の近似的拡張を試み、私の学位論文が完成して学会誌に印刷公表されたのが、1957年のことであった。

後日談 近年になって行なわれたシベリアの爆発地点での地層探査の結果、隕石の形跡が全然見当たらないので、隕石落下説に疑問を抱く研究者もあり、最近では、この現象を「ツングスカの爆発」と呼ぶのが一般である。その正体に関する議論は、今なお賑やかで、これに関する論文が1996年のNature誌に掲載されたりしている。

参考文献

- Bjerknes, J., 1919: On the structure of moving cyclones, *Geofysiske Publikationer*, vol. 1, No. 2, 1-8.
- Brunt, D., 1927: The period of simple vertical oscillation in the atmosphere, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **53**, 30-32.
- Dalrymple, G. Bent, 1990: The importance of small science, *EOS*, **72**, 1-4.
- Hines, C. O., 1969: Internal atmospheric waves at ionospheric heights, *Can. J. Phys.*, **38**, 1441-1481.
- 丸谷オ一，1999：思考のレッスン，第九講（考えるコツ）。本の話，（株）文芸春秋，1999年1月号，36-47。
- マクレイ・ノーマン（渡辺正・芦田みどり訳），1998：フォ

ン・ノイマンの生涯. 朝日選書610, 朝日新聞社, 388 pp.

小沢泉夫, 1998: そのまた先生, 志田順博士, です (旧制松本高校の第22回同窓中心の同人雑誌), 102-106.

Potts, A. S., 1982: A preliminary study of some recent heavy rainfalls in the Worthing area of Sussex, *Weather*, **37**, 220-227.

志田 順, 1921: 地震学の最近 (大正十年七月二十九日上加茂地震観測所における講話), 1-34.

志田 順, 1929: 「地球及地殻の剛性並に地震動に関する研究」回顧. 東洋学芸雑誌, **45**(553), 275-289.

志田 順, 1935: 気候の永年変化と東亜諸勢力の興亡盛衰. 気候の永年変化と地磁力. 科学知識, **15**(1), (2),

1-16.

志田 順, 1937: 別府地球物理研究所開所式に於ける謝辞 (深発地震存在の提唱), *地球物理*, **1**(1), 1-5.

島崎達夫, 1989: 成層圏オゾン(第2版), 東京大学出版会, 224pp.

地学団体研究会, 1996: 新版「地学事典」, 平凡社1443pp. 和達清夫 (監修), 1994: [最新] 気象の事典, 東京堂出版, 607pp.

Whipple, F. J. W., 1930: The great Siberian meteor and the waves, seismic and aerial which it produced, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **56**, 287-298.

山元龍三郎, 1954: 水爆による大気振動, *天文と気象*, **20**(8), 2-5.



教官 (京都大学大気圏物理学大講座) の公募

このたび, 当研究室では下記の要領で『助手』を広く募集することに致しました. ふるってご応募ください.

京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻
大気圏物理学大講座

廣田 勇

記

職種・人員: 大気圏物理学大講座 (気象学講座所属)

助手 1名

専門分野: 気象力学およびその関連分野

(観測, データ解析, 理論, 数値実験等のいずれでもよい)

応募資格: 博士の学位を有する者, または平成12年3月末までに取得見込みの者

着任時期: 今年度中で, 決定後できるだけ早い時期

応募書類:

(1) 履歴書

(2) 研究業績目録(査読あり原著論文, 査読なし論文, 著書, その他に区分)

(3) 主要原著論文の別刷またはコピー (3編以内)

(4) これまでの研究成果とその自己評価 (一番重要な成果を中心に2,000字程度)

(5) 今後の研究・教育の計画と抱負 (2,000字程度)

(6) 小論文 (2,000字程度):

テーマ「これからの気象学におけるコンピュータの役割: 応募者自身のコンピュータ関連技術・経験に基づく提言」

応募締め切り: 1999年11月1日 (月) 必着

封筒の表に「教官公募関係」と明示し, 簡易書留にて郵送すること

選考方法: 書類審査の上, 必要に応じてセミナー形式の面接を行なうことがある

書類の送付及び問い合わせ先:

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町

京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻
地球物理学教室

廣田 勇

Tel: (075) 753-3931 (ダイヤル・イン)

e-mail: hirota@kugi.kyoto-u.ac.jp