

国際シンポジウム「Ice and Climate (雪氷圏と気候)」 に参加して*

安成 哲三**・森 永 由紀***・岩 崎 友彦****

1. はじめに

このシンポジウムは、国際雪氷学会 (International Glaciological Society, IGS) が主催し、アメリカ地球物理学連合 (American Geophysical Union, AGU), アメリカ気象学会 (American Meteorological Society, AMS), およびワシントン大学が共催した、雪氷圏の変動と気候変動との関係についての包括的な討論を行うことを目的とした、おそらく初めての国際シンポジウムであった。1989年8月26~30日、アメリカ西海岸の風光明媚な都市シアトル市のワシントン大学で各国から約200人が参加した、かなりの規模のシンポジウムであった。IGSが主催ということもあり、参加者は、雪氷学・氷河学の研究者が約3分の2、残りの3分の1が気候学・気象学の研究者という割合であった。日本からは、在米日本人を含め15人と、半数以上を占める米国 (この状況はどの国際学会でも変わらないが) を除くと、英国に次ぐ大部隊のようであった。

Ice and Climate とあるように、雪氷圏といっても話題の中心は氷床 (ice sheet), 海氷 (sea ice) 及び氷河と気候 (変動) であり、積雪 (snowcover) そのものに関する話題提供は少なく、極端に言えばわれわれ日本人の独壇場(?) であった。しかし、そのことは別にして、このシンポジウムは、非常に刺激的な、ある意味ではエポックメイキングなものであった。開かれたセッションは多岐にわたったが、大きく分けると、以下の3つに分類される。

1.1 雪氷に残された過去の気候

- ① Paleoclimate determined from ice
- ② Paleoatmospheric composition and transport

* Report of the International Symposium on Ice and Climate, August 1989, Seattle.

** Tetsuzo Yasunari, 筑波大学地球科学系.

*** Yuki Morinaga, 筑波大学地球科学研究科.

**** Tomohiko Iwasaki, 京都大学理学部.

- ③ Holocene climate variations detected in Antarctica
- ④ Recent environment variations detectable in ice
- ⑤ Detecting changes in the Arctic and Alpine regions
- ⑥ Climate in central Asia and the Tibetan Plateau
- ⑦ Glacier variations in the American Cordillera
- ⑧ Glacier variations in the European Arctic

1.2 気候に対する雪氷の応答

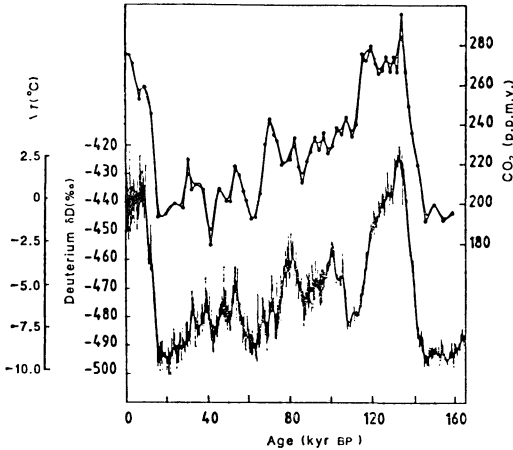
- ① Ice dynamics and ice core interpretation
- ② Changes in ice sheets
- ③ Past and present evolution of the ice sheets
- ④ Modelling the response of ice sheets to changing climate
- ⑤ Mass balance of the ice sheets
- ⑥ Processes of glacier fluctuations

1.3 気候システムにおける雪氷の役割

- ① Ice-ocean interaction
- ② Ice-atmosphere interaction
- ③ Sea ice interactions
- ④ Climate and albedo of snow and ice
- ⑤ Coupled climate models involving ice
- ⑥ Greenhouse gases and climate

2. ポストーク・コアと氷期論

発表は、口頭・ポスターを合わせて約150という数に達していたが、おそらく誰もが持った今回の強烈な印象は、特に氷期のサイクルに照準を合わせた気候モデルに関する発表の多さ(数にして約50%)であった。そしてこれらのモデルのほとんどすべてが、前提となる観測事実として、ソ連の Vostok (ポストーク) 基地の氷床コアで得られた気温 (水素同位体比) と CO₂ との変動曲線 (第1図) を用いたことも印象的であった。ストレートに言えば、この Vostok 氷床コアから得られた過去16万年の地球気候の記録に世界のモデル屋が群がり集まった、と



第1図 南極ポストーク基地の氷床コアから得られた過去16万年の炭酸ガス濃度(上)と重水素(温度の指標)濃度(下)の変動(Barnola *et al.*, 1987より引用)。

いう感じであった。

確かに氷期サイクルに伴う気温の変動が、大気中のCO₂濃度の自然変動とリンクしていることを強く示唆させるこの結果は、これまでの氷期論をひっくり返すだけのインパクトを持っており、モデル(理論)屋が飛びつく大ネタであることには、疑いがないだろう。

このシンポジウムで議論が集中したのは、第1図に示された約10万年の氷期サイクルと、時間的に非対称な変動(比較的ゆっくりとした氷期への移行と急激な間氷期への移行)を、CO₂をからめていかに説明するか、ということであった。10万年周期については、従来からミランコビッチ理論で説明できるという、なんとはなしの雰囲気だが、主として地質学のコミュニティにはあったが、氷期サイクルのような気候の大変動が、ミランコビッチ理論からの日射量変動の程度で可能かという疑問も、根強くあった。CO₂の大変動の事実は、まさに渡りに舟で、これに雪氷圏のフィードバックを取り込んで、定量的にも氷期サイクルを説明しようとする試みが、いくつか紹介された。その中でも特に注目を集めたのは、Saltzman & Maaschによる、“Instability of the global greenhouse gas system as a cause of the ice ages: a low-order dynamical model”と題する講演であった。彼らのモデルの骨組みは、他の多くのモデルと本質的には同じで、いわゆる2次元熱平衡気候モデルと2次元氷床モデルを組み合わせたものである。このモデルのユニークなところは、海水準変動とその氷床への影響、海水域

の変動、地殻熱流量などの効果も取り入れたことにもあるが、この時間スケールでの地球気候システムの変動で基本となるパラメータとして、1) 全球での雪水量、2) 温室効果ガス(CO₂濃度で代表させる)、3) 海洋の熱的・生物化学的な活動の指標としての深層海水温、の三つを取り上げていることである。多くの熱平衡モデルで主パラメータとして扱われている気温は、この時間の変動では全く受動的なパラメータであり、上に挙げたパラメータの、いわば“つなぎ”としての役割しか果たしていないことを見抜いているあたり、さすが気候モデリングの大家 Saltzman ならではの腕前である。明瞭な結論は避け、むしろ問題提起をしたかたちだったが、10万年周期は、今まで言われていたような Milankovitch forcing のみではとても説明が見つかるものではなく、この弱い太陽放射変動に対応した気候システムの非線形応答か、さもなくばその放射変動すら不要な、気候システム内での自由振動である可能性を指摘していた。また、上記三つのパラメータにもとづく気候変動が、さらに長い百万年(以上)の時間スケールの大陸・海洋・山岳分布条件(tectonic equilibrium)下における平衡解(状態)のまわりでの非平衡・非定常振動である(即ち、現在のtektonicな場があってこそその氷期サイクルであり、その場が変われば変動の様相も一変する可能性がある!)こと、南極とグリーンランドの氷床コアに見られるダスト量のちがいは、地球気候システムの特性的にも関連するかも知れないなど、今後の氷床コアによる気候研究に対する示唆も含め、興味深い指摘が多かった。

3. 氷床コア解析の精神

モデル以外での発表では、南極及びグリーンランドの氷床コアによる過去の気候・環境変動の復元に関する発表が多かったが、各々の発表内容の善し悪しはともかく、この研究にかかる各国の意気込みと情熱がひしひしと伝わって来るものが多かった。先に述べた Vostok Ice Core の結果は、その結実とも言えるものであろう。特に、コア解析から得られる様々な物理・化学的成分の変動の単なる記述にとどまらず、これらの結果が、気候・大気循環の変動と具体的にどのように関連しているかに関する議論が、解析者自らにより、或はタイアップした気候(モデル)屋により、intensiveにされている発表があったのは印象的であった。例えば Pecl and Mulvaneyによる 200-year climatic record from the Antarctic Peninsula と題する発表では、南極半島での氷コアの酸素安定同位体比の1970年代に置ける極大が、Weddell 海

付近のブロッキング現象の持続した状態のもとでの、Weddell ポリニアからの熱と水蒸気の輸送の強化に対応していることを、見事に示していた。

日本の雪氷グループによる南極や北極周辺でのコア解析が、あまり話題にあがらなかったのは、このあたりの議論がまだ非常に弱いことが、大きな原因とも考えられる。これは、しかし、日本の雪氷屋の問題であると同時に、気候(気象)屋の問題でもあろう。良くも悪くも、半球・全球データセットとやりに慣れきってしまった今の日本の気候(気象)屋には、たった一本のコアからのしかも proxy なデータから、いったい何が分かるのかという懐疑心が非常に強い。これは一面では正しい態度かも知れないが、その半面では、分からなければとにかく一点でも測るといふ、地球科学本来の態度を忘れていくことにはならないだろうか。グローバル性を今や謳歌している最近の気候(気象)学の発展も、もとはといえば一点での観測から始まったものであり、その基本は今も変わりはないはずである。Vostok Ice Core にみられるようなブレイクスルーな結果を生み出すか否かは、このような(地球)科学本来の精神風土があるか否かにかかっている、と言えないだろうか。

このシンポジウムでのもう一つの収穫は、会議の仲日と後にあった、爆発後のセント・ヘレンズ火山と、レーニエ山周辺の氷河と氷河遺跡への見学会であった。今はただ森林と草原の入り混ざった田園地帯の、広くゆるやかな丘の上で、「最終氷期のローレンタイド氷床の端はここまで来ていました」と言うガイド役の研究者の言葉は、それだけで、変動する地球の気候と環境に対する限らない興味を呼び起こすには十分であった。

(以上 安成 記)

4. SYMPOSIUM の印象記

氷のコアの解析の研究と、それらを取り入れた気候モデルの研究の二通りの発表が多く、その取り合わせが新鮮だった。雪氷学的な観測結果を反映させたモデル研究がこれほどあるとは思わなかったからだ。

一方“ICE AND CLIMATE”のせいかわ過去数十年といった時間スケールの短い研究、また氷だけでなく雪を扱った研究が僅かだったのは残念だった。

会期中に半日の巡検で見学した SEATTLE 近傍や、学会のあとに寄った MONTANA 州の GLACIER 国立公園で見た見事な氷床地形は、かつてそこを覆っていた LAURENTIDE 氷床の存在をさまざまと実感させた。私は過去約20年間のデータの解析から、ユーラシア大陸

の積雪の方が北米大陸のそれよりも大気に対して多くの役割を持ちうると感じている。しかし、ユーラシア大陸には見られないと言われる大きな氷床の爪痕を目にすると、より長い時間スケールではむしろ北米の積雪と大気の間には巨大な氷床を発達させる作用が働いていたことを思い出させられ興味深かった。

最後に蛇足だが、国立公園の観光ガイドの質の高さ(自然環境に対する知識)に感心し、自然科学専攻の院生たちがレンジャーのアルバイトをしているのを羨ましく思った。

(森永記)

5. IGS シンポに参加して

IGS のように雪氷を中心に扱う集會に参加したのは、今回が初めてである。世界から雪氷の専門家が集まったわけだが規模は200人程度で日本気象学会より小さい。

研究発表のテーマは、

I. 南極・グリーンランドのコアと古気候

II. 氷河(期)の変動

III. 雪氷-海洋-大気の相互作用

IV. 積雪・海水

V. 温室効果

ETC.

に分類されると思う。

I, II については、高緯度・極域・山岳域における時間スケールの非常に長い(～数千年)話を中心で、また用語も知らないものが多く、まるで学部生の時に戻ったような素人の立場から聞かせてもらった。とくに、雪氷コアの話は、同位体・RI 解析などによりコア生成時の環境・時代さらに氷河地形の形成過程まで導けるというのが、私の知識不足もありどうも怪しさが漂う。

III, IV については、現在の気候を意識し、かつ、気象学会では聞けない事柄も多く、勉強になった。例えば、海水開口部の影響、また、極域海峡部における大規模・継続的な ICE FACTORY が大気に対して大きな正の熱フラックスを放出しているという話などは、極域雪氷圏の大気大循環に与える効果を考える上での基礎となるものであろう。

今回のシンポジウムに参加した人の中には、最近の気候変動に関心を示す人が意外と多く、私の発表の時に相手方から EL NINO やモンスーンの話を持ちかけられたのには驚いた。実際、研究発表の中にもアリュシャンやグリーンランドの西を通過する海水量の年々変動が ENSO-CYCLE と符号するというのがあった。日本の研究者は自分の専門分野にとじこもりがちなのに対して、

外国人の興味・視野の広さを感じ、考えさせられる点が多い。いずれにせよ、雪氷-海洋-大気の相互作用というような学際的なテーマに身を置く研究者は、各分野との交流を盛んにして、常に広い視野をもつべく努力すべきだと痛感した。

最後に、今回のシンポジウム参加にあたって国際交流事業の一環として日本気象学会から旅費の援助を頂いたことを感謝します。

(岩崎記)



山元龍三郎著

気象異常

—フロン・酸性雨・森林破壊・
温暖化—

集英社, 1989年7月刊

237頁, 1,500円

今、世界にひろく話題となっている地球の温暖化について説いた本である。

先日、家庭の主婦向けに書いたと著者から手短に御挨拶をいただいた。このことは、けっして、この本が新聞、雑誌、ドキュメントなどのニュースや興味中心に書かれたことを意味しているのではない。地球規模に社会問題化してきたこの重要な問題について、社会のひとりびとりに正しく理解してもらい、自然な姿の地球環境が将来へもうけつがれるようにという著者のひたすらな願いがあることを意味しているように思う。

著者は大気力学、気候変動、台風等の広汎な気象分野でながく教育研究に携わり、また日本気象学会理事長として学術行政の立場でも働いてきた方である。その道の専門家として大気環境が今日騒がれている方向に進みつつあることを憂慮せずにはおられないという気持がこの本の著述となったと察せられる。

地球の温暖化、異常気象等の言葉は、だれかれ関係なく共通の響きをもつありふれた社会用語であるが、そのメカニズムは大変複雑である。大気に働く不確定要素が多く、また、現時点においてその影響がきちんとおさえられていないというのが現状である。したがって、研究者によって、表にあらわれた異常気象に対する根拠についての判断もまちまちである。著者はこのことを「世界

の学者の意見が不幸にして一致していないのは、地球に関するわれわれの理解が十分でないためである」と嘆いている。かような実態を知りつつも、著者は、地球の温暖化は確実に進行していると警告している。そして、これが地球の自然環境、社会環境にどう影響してくるか、どうすれば予測でき、どう対策すればよいか、等々について専門家の目ととらえ、これをわかりやすい筆致で解説してくれている。

異常気象、地球環境、等に関する現象事例的な本はこれまで多く出版されているが、これらの報告類のものには見られないものがこの本にはある。それは、温暖化の物理機構を明瞭にし、精密に定量化し、そして大気環境が悪化しないように指向していこうという温かい呼びかけがある。この問題を自然科学の対象として真剣に取り組もうと思う方にもこれは立派な指導書であり、またこの話題に対する総合的な知識を常識とし、とりあえずもっておきたいという方にも好適な読本である。一読をおすすめしたい。

この本は、シナリオがはっきりしており、これが1本の映画をみるように現象理解を助けてくれる。ちなみに、本書の構成は、

第1章 プロローグ (1988年の異常気象など)

第2章 地球に何が起きているか

第3章 地球を取り巻く環境からの警告

第4章 環境保全への取り組み

第5章 懸念される地球の動向

第6章 エピローグ (環境破壊の代償など)

のようになっている。そのいずれかの章で、フロン、酸性雨、オゾンホール、森林破壊、砂漠の拡大等々の一般人には耳新しい現象がとりあげられている。

(琉球大学短期大学部・石島 英)