

## 第4回国際 CO<sub>2</sub>会議に参加して\*

石井雅男\*\*・村山昌平\*\*\*

### 1. はじめに

1993年9月13日から17日まで、フランス南部の地中海に面した Carqueiranne という小さな町の保養所で、4th International CO<sub>2</sub> Conference が開催された。この会議は、1981年にスイスのベルンで International Conference on Atmospheric CO<sub>2</sub>として WMO によって始められ、近年の人為的な大気中の二酸化炭素濃度の急激な増加に関し、大気中の二酸化炭素はもちろん、基礎となる地球規模の炭素循環の観測や研究について、最新の成果の発表や討議を行うため、4年に一度開催されている。今回はその第4回にあたり、M. Merlivat 氏と G. Lambert 氏を世話人として、フランスの Institut National des Sciences de l'Univers/Centre National de la Recherche Scientifique の運営により開催された。地球温暖化問題に対する関心の高まりとともに参加者も増え、今回の会議には、ヨーロッパ各国や北米を中心に、世界22か国の大学や研究機関からちょうど200名が参加した。日本からの参加者も前回の6名から12名へと倍増している。ちなみに第1回の参加者は50名足らずで、地球観測年を契機にハワイのマウナロアや南極点で CO<sub>2</sub> 濃度の観測を始めた米国 Scripps 海洋研究所の C. D. Keeling 氏は、会議の冒頭でこの参加者の急増について「指数関数的に増加している」と述べ、大気中の CO<sub>2</sub>増加に例えていた。この会議の直前には、JGOFS (Joint Global Ocean Flux Study) の委員会も当地で開かれており、会議の前半には JGOFS 委員会への参加者の姿も多く見られた。

### 2. 会議の内容

主な発表のテーマは以下のものであった。

- (1) CO<sub>2</sub>の分布、大気・海洋・陸上間の CO<sub>2</sub>交換に関する観測結果
- (2) 大気中 CO<sub>2</sub>濃度および炭素・酸素同位体比の時間空間分布についての解釈
- (3) 炭素循環モデル
- (4) 過去あるいは将来にわたる長期的な炭素循環の変動

発表件数は、講演とポスターの各セッション合わせて148件にのぼった。複数のテーマにまたがる発表も多いため、分類することは容易ではないが、大別すると大気23件、海洋40件、モデル36件、陸の植生19件、古気候8件、同位体19件、その他3件となり、海洋の観測や、モデルを使った研究に関する発表の多さが目立った。具体的な発表内容については、講演要旨が WMO の Environmental Pollution Monitoring and Research Programme Report Series の No. 89 として発行されている。また The Swedish Geophysical Society の Tellus Series B に Special Issue として特集される予定である。ここでは概略を述べる。

会議冒頭の主催者挨拶と WMO の J. M. Miller 氏による Global Atmospheric Watch に関する説明に続き、大気中の CO<sub>2</sub>濃度の観測結果について発表が行われた。この中で特に興味深かったのは、近年の CO<sub>2</sub>濃度の増加率の変化である。世界各地のいわゆるバックグラウンド観測によると、大気中の CO<sub>2</sub>濃度の増加率は、ENSO イベントなどに関連して年々変化しているが、ここ1、2年は増加率が小さくなっている(米国、NOAA/CMDL や Scripps 海洋研究所のグループなど)。例えば、1980年代の平均増加率は 1.6 ppm/year であったが、1992年のマウナロアでの増加率は 0.7 ppm/year であった。一方その炭素の安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) は、1988年以降、減少が非常に緩やかになっている。さらに、1987年以後の南極昭和基地のデータに

\* On the 4th International CO<sub>2</sub> Conference, Carqueiranne, September 13-17, 1993.

\*\* Masao Ishii, 気象研究所地球化学研究部.

\*\*\* Shohei Murayama, 資源環境技術総合研究所環境影響予測部.

よると CO<sub>2</sub>濃度の増加率と CH<sub>4</sub>濃度の増加率の経年変化に逆相関がみられた(国立極地研究所のグループ)。これら一連の現象は、ピナツボ火山の噴火に誘発された現象なのだろうか、それとも原因はほかにあるのだろうか。地球上の炭素循環に今何が起きているのか、今後の動向とその解析結果が注目される。

上記以外の発表では、カナダの Higuchi らの流跡線解析を用いた数日から2週間程度の時間スケールの濃度変動についての解釈、ヨーロッパ各国のグループによるヨーロッパ各地の CO<sub>2</sub>濃度の観測結果、米国の Bakwin による高さ 600 m のテレビ塔を利用した各高度における CO<sub>2</sub>濃度の連続観測結果、オーストラリアのグループによる南半球における地上及び航空機観測の結果及びデータを扱う上での注意点について、また日本からは、国立環境研のグループによるシベリア上空での観測結果、気象庁による日本-オーストラリア間の航空機観測の結果、東北大学のグループによる日本上空の成層圏および南極昭和基地上空における観測結果とその解釈などの発表があった。

氷床コアの分析による過去の CO<sub>2</sub>濃度や  $\delta^{13}\text{C}$  の推定では、日本、フランス、スイス、オーストラリアの各グループからの発表があり、データ数の増加とともに、各研究機関の測定精度も向上しており、産業革命前の小さな振幅の変動についても、議論がなされるようになってきた。その一方で、オーストラリアのグループにより、通気性が残っているフィルン層の分析結果について発表があり、コア中に取り込まれた空気年代決定のための新しい手法として注目を集めた。また、氷床コア分析の測定については、気泡として外気から遮断されるまでに分子拡散過程で生じる気体分子量に応じた gravitational fractionation 効果を考慮することが、特に  $\delta^{13}\text{C}$  の推定において重要であるとの報告がスイスやフランスのグループからあった。このほか、CO<sub>2</sub>の分析が難しいとされているグリーンランドの氷床コアの分析について、近年、EUROCORE プロジェクトで採取されたコアの分析結果の発表がフランス・スイスのグループからあったが、依然として、南極で採取されたコア分析の結果と比べて分析値にばらつきが大きく、残念ながら産業革命以前の南北両半球間の濃度差を推定するまでには到っていないようである。

同位体関係では、大気中 CO<sub>2</sub>の  $\delta^{13}\text{C}$  の系統的な観測例は、これまで少なかったが、今回、米国 NOAA/CMDL のグループの全球規模の観測網や東北大学のグループによる西太平洋上における観測結果の発表が

あった。 $\delta^{13}\text{C}$ についても広域かつ高精度な系統観測が展開されることにより、今後、炭素循環に関する新たな知見が得られることが期待される。また、大気-陸生植物圏間の炭素循環に関する情報を与えてくれると考えられる、大気 CO<sub>2</sub>中の酸素安定同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) についての発表も2件あった。

大気と陸生植物との交換量評価については、リモートセンシングを用いた広範囲にわたる交換量の推定や、ある限定された熱帯林キャノピーにおける渦相関法による CO<sub>2</sub>収支の直接測定などの発表があった。しかし、全球規模の大気-陸生植物間の収支を推定するための有効手段として用いるためには、基礎データが非常に不足しており、依然として、CO<sub>2</sub>濃度や同位体のデータなどからモデル計算により推定せざるを得ないといったのが現状である。

海洋に関する発表は、

(1) ある測点や測線での集中観測から、表面海水中の CO<sub>2</sub>分圧、全炭酸濃度や炭素同位体比の季節変動や年変動を明らかにしたもの(例えば、東北大学、気象庁、気象研の日本の各グループによる西部太平洋での観測結果、アメリカの NOAA のグループやカナダの Wong らによる北太平洋の観測結果、ノルウエーの Nydal らによるノルウエー海での観測など)

(2) 広範な範囲の CO<sub>2</sub>分圧、水温及びクロロフィル量などの観測をもとに、CO<sub>2</sub>分圧と他のパラメーターとの関係を明らかにし、データ空白域の CO<sub>2</sub>分圧の推定やリモートセンシングの利用を目指したもの(例えばフランスのピエールマリーキュリー大学のグループによるインド洋での観測結果など)

(3) ある測点や限定された海域で、CO<sub>2</sub>分圧、全炭酸濃度、アルカリ度といった CO<sub>2</sub>関連のパラメーターはじめ種々の海洋学的パラメーターを観測し、総合的に海洋の炭素循環プロセスの解明を目指したもの(例えば、イギリスの Robertson らによる、円石藻の北大西洋におけるブルーミングに伴う炭酸系の変化の観測や、オランダの de Baar らの、夏の南大洋における観測結果の速報など、JGOFS の各計画に関連したもの)

(4) バルク法による大気-海洋間の CO<sub>2</sub>フラックス評価における交換係数の再評価や、その広い海域にわたる分布や変動の算出(例えばイギリスの Liss ら、フランスの Merlivat ら、Boutin らなど)

(5) OGCM (海洋大循環モデル) に生物活動に伴う炭素循環過程を組み込み、CO<sub>2</sub>や栄養塩などの種々のパラメーターの分布や、季節変動あるいはエルニー

ニョに伴う変動の再現を試みたもの（例えばドイツの Maier-Reimer らなど）

(6) 人為起源の CO<sub>2</sub>の海洋への吸収に関する、モデルを使った考察など（例えばスウェーデンの Dyrssen らやドイツの Maier-Reimer らなど、スイスの Siegenthaler の招待講演も予定されていたが、キャンセルになった）

(7) 全炭酸測定における標準海水や高精度の pH 測定など、測定の向上に関するもの（アメリカの Dickson など）

など多岐にわたった。

海洋の CO<sub>2</sub>分圧の多様性、変動の大きさを考えると、現時点でもそのデータ量は明らかに不十分だが、情報は増加しつつある。これまでに特にデータが乏しかった極域、特に広大な南大洋に関しても、ヨーロッパ、アメリカ、オーストラリアなどが盛んに観測を行い始めており、発表もいくつか見られた。しかし、冬季のデータを得ることが困難なこと、海水や氷山の存在、激しい鉛直混合と夏の生物活動など、この海域の複雑さを改めて感じさせた。一方、バルク法による大気-海洋間の CO<sub>2</sub>フラックスの算出に必要なガス交換係数が、式によって2倍も異なるといった、交換係数に関わる諸問題に関しても、努力が続けられているが、未だに解決されておらず、この点からも広域の大気-海洋間の CO<sub>2</sub>フラックスの評価に、大きな不確定性は残されたままになっている。

海洋の炭素循環に関するモデルは、簡単なボックスモデルから OGCM と組み合わせたモデルへと進展してきており、今後の観測とモデル相互のフィードバックの重要性を印象づけた。一般的に言えば、表面海水の CO<sub>2</sub>分圧の分布や変動のデータから CO<sub>2</sub>フラックスを評価し、GCM と組み合わせた炭素循環モデルに対する束縛条件として使用しようとする流れと、CO<sub>2</sub>分圧を海洋の炭素循環モデルの中で捉え、CO<sub>2</sub>パラメーターの時空間変動のメカニズムや、海洋に吸収された CO<sub>2</sub>の行方を明らかにしようとする流れの2種類があるように思われた。

化石燃料の消費や森林破壊によって人為的に大気へと放出された CO<sub>2</sub>が、海洋や陸の植生にそれぞれどれだけ吸収されているのか、といった CO<sub>2</sub>の全地球的な収支に関連したモデル実験についても、いくつか発表があった。米国、オーストラリア、ドイツのグループなどから発表があり、多くのモデルが、GCM あるいは実測の風データを用いて大気の輸送を考慮した3次元

モデルであった。また、CO<sub>2</sub>の濃度だけでなく δ<sup>13</sup>C の時空間分布を考慮したものが主流となってきたおり、大気-海洋間の CO<sub>2</sub>分圧差に関する観測データなどを用いて海洋との交換量の分布を考慮したのものも多かった。中には、以下で述べる酸素/窒素比を含んだモデルもあった。しかし、モデルがこのように複雑化していても、観測データがその要求に十分応えているとは言えない状況もあって、大気・海洋・陸の植生といった地球の各炭素リザーバー間の炭素フラックスの評価は、依然として研究者ごとに大きく異なっており、いわゆる「ミッシングシンク」の問題に対する統一的な見解は出されていない。そうした中で、R. Keeling らや M. Bender らによる大気中の酸素/窒素濃度比の変動の観測結果の発表は、この問題に対する新たな情報を提供するものとして注目を集めた。極めて高い精度の測定が要求され、2件の発表があったにすぎなかったが、今後観測が広範囲にわたって長期的に行なわれるようになれば、炭素循環解明の新たな手がかりになることが期待される。

### 3. おわりに

日本の観測データの質は概して高く、評価も高い。しかし組織的な観測となると、世界的な観測網をもち、あるときは大規模かつ集中的に観測を行う欧米諸国に比べて見劣りすると言わざるを得ない。そうした状況の中で、日本にあっては、今後とも各国と協力しながら、基本的なデータを一定の場所などで長期間にわたって正確にとり続けて行くと同時に、酸素/窒素比の測定に見られるような、新しいアイデアを盛り込んだ観測を目指すことが大切ではなかろうか。さらに各研究機関が孤軍奮闘するだけでなく、国内外の各研究機関が、省庁や国の壁を超えてそれぞれ得意な分野を持ち寄って共同研究を行える体制を築き、実践していくことが重要と思われる。また、大気でも海洋でも、炭素循環の研究においては、モデルと観測の互いのフィードバックによる研究の進展が、一つの重要な軸となっているが、日本からはモデルを使った研究の発表が少なく、今後の課題であろう。

コートダジュールでのバカンスは、エクスカージョンで行った Porquerolles 島のビーチで過ごした数時間だけで、セッションは、朝8時半から夜8時頃まで、過密スケジュールの中で行なわれた。夕食の後もワインやビールを片手に話は尽きず、会議終盤には疲れもピークに達したが、会議への参加を通じて、一線で活

躍する各国の研究者とじかに接することができ、とても有意義であった。

最後になりましたが、この会議への参加に当たり、

気象学会国際学術交流委員会より旅費の援助を頂きました。ありがとうございました。

## 1994年地球化学研究協会学術賞「三宅賞」の受賞候補者 および研究助成候補者の推薦依頼について

三宅泰雄教授退官記念事業として1972年に設立された地球化学研究協会は、その翌年から、地球化学に顕著な業績をおさめた科学者に、毎年、地球化学研究協会学術賞「三宅賞」を贈呈しています。

さらに1983年からは、海外シンポジウムに出席・論文を発表し、または海外の学術研究調査等に参加する地球化学の若手研究者に対し、助成を行なっています。

なお、賞金および助成金は本協会を母体として、1983年に創設された公益信託「地球化学研究基金」（受託者東洋信託銀行株式会社）から贈られます。

### 記

#### 三宅賞

1. 本賞は地球化学に顕著な研究業績をおさめた科学者に贈呈します。
2. 本賞は賞状とし、副賞として賞牌および賞金(30万円)をそえます。
3. 本賞の贈呈は、1年1件(1名)とします。
4. 規定の用紙に受賞候補者の推薦対象となる研究題目、推薦理由(400字程度)、主な論文10編程度に略歴をそえて、協会事務所までお送り下さい。

#### 研究助成

1. 研究助成は地球化学の研究者で、海外のシンポジウム等に出席し論文を発表する者、ならびに海外における学術調査研究などに参加する者に対して行なわれます。
2. 助成金は1件10万円とし、年に3件とします。
3. 規定の用紙に推薦候補者(各締切日において満40歳迄とする)のシンポジウム出席については略歴、研究業績、国際会議名(主催団体、開催場所、開催年月日)、論文題目、推薦理由等を、海外学術調査に関しては、略歴、研究業績、調査地(国名、地域名)、調査目的・計画、推薦理由、同行者などを記入して、協会事務所までお送りください。

三宅賞の贈呈および研究助成者の発表は、1994年12月3日(土)、東京で行ないます。

申込締切日は、三宅賞は、1994年8月31日。

研究助成は、第1回締切 1994年8月31日、

第2回締切 1995年1月15日。

地球化学研究協会

〒166 東京都杉並区高円寺北4-29-2-217

電話03-3330-2455

(FAX 兼用)