

第13回ニュークリエーションと大気エアロゾルに関する 国際会議の報告*

水野 量**

1. はじめに

気象現象は、大気エアロゾルと呼ばれる主に $1\mu\text{m}$ 以下の小さな粒子から雲や高・低気圧、台風、さらに 10,000 km 以上の大きな波動まで、さまざまなスケールが関係している。このように広い範囲にわたる気象現象を、私たちはそれぞれのスケールで卓越するものを対象として理解してきている。ニュークリエーションと大気エアロゾルに関する国際会議は、気象に関して最も小さなスケールに関係する現象を対象とするものである。

過去 12 回行われたこの会議の開催年と開催地を第 1 表に示す。なお、第 12 回会議の報告は、福田(1989)が行っている。

今回の第 13 回会議は、1992 年 8 月 24 日～28 日米国ユタ州 Salt Lake City のユタ大学で開催された。この会議の co-chairman (共同議長) であるユタ大学の福田矩彦教授のところに 7 月下旬から滞在し、主催者側の一員として開催準備に参加する機会に恵まれたので、会議概要を報告する。なお、この会議で発表された論文は、A. Deepak Publishing から “Nucleation and Atmospheric Aerosols” (N. Fukuta and P. E. Wagner. Eds.) として刊行されているので、個々の発表内容はこの本を参照されたい。

2. 経過

1988 年の第 12 回会議において今回の会議が 1992 年に米国ユタ州 Salt Lake City で開催されることが決まり、会議の約 1 年半前から準備が進められてきた。なお、会議の日程は、第 11 回雲と降水に関する国際会議 (1992 年 8 月 17 日～21 日、カナダ Montreal で開



第 1 図

会議のシンボルマーク
福田教授のデザインによる。

催) の次の週として組まれた。また、この会議のシンボルマークとして、第 1 図のものが用いられた。マークの背景となっている大小いくつかの円は、ニュークリエーションにおける分子とクラスターの形成を意味すると同時に、大気エアロゾルを象徴的に表現している。

3. 会議概要

3.1 プログラム

会議は、8 月 24 日 (月)～28 日 (金) の 5 日間にわたってユタ大学で開催され、20 の口頭発表と 2 つのポスターセッションに分けられて進められた。一部に 2 会場で口頭発表が同時に行われるセッションが設けられた。1 つのセッションを 90 分として、レビュー論文には 30 分、普通の論文には 15 分の時間が割り当てられ、かなり十分な発表と討論の時間が組まれた。

3.2 参加者

会議参加者リストが会議期間中に作成されて配布されたが、これによると参加者は約 130 人であった。日本人としては、笠原(京都大学原子エネルギー研究所)、石坂(名古屋大学水圏科学研究所)、岡本(東京情報大学)、松尾(気象庁気象研究所)、大竹(アラスカ大学)、福田(ユタ大学)、水野の 7 人であった。なお、笠原は “大気エアロゾルの形成、性質、気候的影響” に関するセッションの座長を務めた。

3.3 発表論文数

会議の論文集に収められている論文は 114 で、このうちレビュー論文は 10 である。米国が 39 と最も多く、次いでロシア 21、ドイツ 13、中国 8 となっている。日本からは次の 3 題の発表があった。

* Report on the Thirteenth International Conference on Nucleation and Atmospheric Aerosols.

** Hakaru Mizuno, 気象研究所 (1992 年 7 月下旬からユタ大学に滞在中)。

第1表 ニュークリエーションと大気エアロゾルに関する国際会議の開催状況

回	開催年	開催地 (国名)
1	1955	Dublin (アイルランド)
2	1956	Barsel, Locarno (スイス)
3	1958	Cambridge (英国)
4	1961	Frankfurt-am Main, Heidelberg (ドイツ)
5	1963	Clermont-Ferrand, Toulouse (フランス)
6	1966	Albany, University Park (米国)
7	1969	Prague (チェコスロバキア), Vienna (オーストリア)
8	1973	Leningrad (ソ連邦)
9	1977	Galway (アイルランド)
10	1981	Hamburg (ドイツ)
11	1984	Budapest (ハンガリー)
12	1988	Vienna (オーストリア)
13	1992	Salt Lake City (米国)

Kasahara, M.: Chemical composition of atmospheric aerosol particles. (大気エアロゾル粒子の化学的組成), (招待レビュー論文)

Ishizaka, Y. and G-Y. Qian: Internally mixed particles of sulfate and nitrate in acidic fogs. (酸性霧中の硫酸と硝酸との混合粒子)

Matsuo, T., H. Mizuno, M. Murakami and Y. Yamada: Ice crystal formation in cirrus clouds. (巻雲内の氷晶形成)

印象的に感じたのは、日本の気象の分野ではほとんど行われていないと思われるニュークリエーションの理論的研究、実験的研究を米国、ヨーロッパの各国が熱心に取り組んでいることであった。ニュークリエーションの基礎的研究にも力を注いでいる人達を見て、気象が関係する分野の幅広さを感じた。

3.4 発表内容

(1) Fundamental processes of nucleation (ニュークリエーションの基礎的過程)

この項目では、3つのレビュー論文を含む30の論文が5つのセッションに分かれて発表された。気体の分子状態から液体や固体の密接した分子状態へと遷移するニュークリエーションをどのように理解するか、理論的研究と実験的研究の両面から発表された。

力不足ながら私なりに要約すると、次のようになる。homogeneous nucleation (均質ニュークリエーション)の古典理論は一定の説明を与えるけれども、実験結果と一致しない不十分な点があり、古典理論を包括したあるいは新しい理論の必要性がレビューや個々の発表で強調されていた。

具体的には理論的研究では、Shi and Seinfeld(米国)

が複数の分子で形成しているクラスターの粒径分布を支配する運動論式の解法について発表し、Katz *et al.* (米国)が古典理論の矛盾を改善した修正理論を示し、Wyslouzil and Seinfeld (米国)が古典理論の非等温条件への拡張を報告した。また、Fishman and Shneidman (米国)の有限の寿命をもった粒子のニュークリエーション、Kumar *et al.* (インド)の表面自由エネルギーが曲率に依存する効果を取り入れたモデル、Shneidman (米国)の過渡的ニュークリエーションの発表などがあった。いずれもさまざまな角度から古典理論の枠組みを広げようとする貴重な努力である。

実験的研究では、Wilemski *et al.* (米国)とWagner *et al.* (オーストリア)が、従来の一部のニュークリエーション理論に反して混合気体のcarrier gas (ニュークリエーションに直接関与しない気体)の、気圧の影響がないということを実験的に示した。また、El-Shall *et al.* (米国)は極性をもった分子の均質ニュークリエーションが古典理論から大きくはずれていることを示し、Strey *et al.* (ドイツ)は2成分系のニュークリエーションの実験結果が古典理論では説明できないことを主張した。これらの実験結果は、理論的研究と共に今後ニュークリエーションをより一般的に理解するために重要なデータを提供するものと思われる。

(2) Cloud droplet nucleation in the atmosphere (大気中の凝縮ニュークリエーション)

この項目では、2つのレビュー論文を含む18の論文が、4つのセッションに分かれて発表された。

2つのレビュー論文(フランス Clermont Ferrand の Serpolay と米国ワシントン大学の Hegg and Hobbs とによる)では、大気エアロゾルの一部で過飽

和度2%以下で雲粒を形成するCCN (cloud condensation nuclei: 雲核)の重要性が次のようにまとめられている。すなわち、CCNは雲粒を形成するだけでなく、雲の微物理構造、降水形成過程、雲の放射特性に影響を及ぼすため、CCNの生成・消滅、数濃度等を知ることが気候変動の重要課題の一つとなっている。Serpoly は CCN の測定方法をレビューし、Hegg and Hobbs は海洋性大気中でのこれまでの研究・データからCCNの数濃度、季節変化、鉛直プロファイル、化学成分等について報告した。しかし、CCN形成に関して雲が生成源であり消滅源でもあることや有機物が果たす役割の可能性があることなどのために、CCNの一生の全体像を描くことはまだできていないこと、多くの地域で長期にわたるCCN活性化スペクトルデータの測定、化学成分の測定をさらに行うことが必要と強調した。

その他の論文で興味を引いたのは、次のものである。観測に関しては、Saxena and Grovenstein (米国)のCCN enhancement (CCNの数が雲の周辺で卓越する現象)についてのもの、DeFelice and Saxena (米国)のCCNの数の変動が気象現象の通過と密接に関係していることを示したもの、Ramsey-Bell and Covert (米国)のワシントン州山頂でのCCNスペクトルとエアロゾル粒径分布の測定を報告したものである。また、モデルに関しては、Raes and Van Dingenen (イタリア)のエアロゾル力学モデル、Fitzgerald (米国)のエアロゾル粒径分布の変化モデル、Feingold and Heymsfield (米国)のメソスケールモデルとGCMのためのニュークリエーションスキーム、凝縮パラメタリゼーションがある。さらに、Serpoly と Van Dinh *et al.* (フランス)がサバンナの植物を燃焼させた場合の煙の中のCCNの数を実験的に求めたものがあつた。これらのCCNに関する研究成果はまだ断片的であるけれども、今後雲の微物理構造、降水形成過程、雲の放射特性などの理解においても役立つものと思われる。

(3) Ice nucleation in the atmosphere (大気中での氷のニュークリエーション)

この項目では、25の論文が4つのセッションに分かれて発表された。興味を引いたものは、極成層圏雲PSC (polar stratospheric cloud)の成因に関する発表と、氷晶核についての実験的研究と観測的研究である。

Luo *et al.* (ドイツ) と Peter *et al.* (ドイツ) は、PSCの成因が硫酸水滴の均質凍結であることを理論的取扱と成層圏の観測データから示した。また、Ohta-

ke (米国) は、 H_2SO_4 水溶液の凍結温度の実験結果を示し、PSCの形成を議論した。

氷晶核の実験的研究では、人工氷晶核のニュークリエーションのメカニズムを明らかにするもの (Vali (米国)、DeMott *et al.* (米国)、Radhakrishnan (インド)) と、自然氷晶核の異なる測定法の相互比較 (Aksenov *et al.* (ロシア))、氷晶核の過飽和スペクトルを求めるもの (Hussain (パキスタン)) が、氷のニュークリエーションのメカニズムを明らかにするために重要なデータを提供すると思われた。

観測的研究では、Matsuo *et al.* (日本) と Sassen (米国)が、自然氷晶核の数濃度に関して従来のFletcherの式よりも少ない数濃度が対流圏の中・上層で期待されることを示した。前者は雲粒子ゾンデによる直接観測データを用い、後者はライダーによるリモートセンシング観測データを解析して、同様な結論を導いていた。

また、Levkov and Rockel (ドイツ) は、従来の知識に基づく氷のニュークリエーションスキームを用いた3次元巻雲モデルの計算結果を報告していた。ニュークリエーションをどのように雲モデルのなかで表現するか、今後さらに詳細な知識が必要である。

Pitter and Finnegan (米国)のレビューで強調されたように、これまでの実験的研究から氷のニュークリエーションにはいくつかのメカニズムがあり、それぞれの氷晶生成率が明らかになりつつある。これらの知見を観測的研究や数値シミュレーションに取り入れていく必要があると思われる。

(4) Formation, characteristics and climatological effects of atmospheric aerosols (大気エアロゾルの形成、性質、気候的影響)

この項目では、4つのレビュー論文を含む41の論文が発表された。Koepke (ドイツ)のレビューで強調されたように、大気エアロゾルは地球-大気システムの放射場に関係し、気候に影響を及ぼしている。また、Kasahara (日本) と Jaenicke (ドイツ)のレビューにあるように、大気エアロゾルの化学成分には人工起源のものがあり、よりよい大気環境を達成するためにも大気エアロゾルの挙動をよく理解する必要がある。これらの大気エアロゾルの重要性に関連して、理論的・実験的・観測的研究や新しい観測測器の開発、数値モデルを用いた研究、気候への影響を調べる研究などさまざまな観点から発表された。

理論的研究では、Clement (英国)が複数の分子から

なるクラスターの生成方程式からのニュークリエーション理論をレビューし、Merkulovich and Stepanov (ロシア) と Ulevicius *et al.* (リトアニア), Hudson (米国) が CCN の数濃度やスペクトルに影響するエアロゾル粒子の coagulation (衝突凝結) に関連した発表をしていた。また、Grinshpun *et al.* (米国) は、エアロゾル粒子の採集に関する捕捉率の一般式を示し、取り込み口のデザインや捕捉率の決定に有用であることを強調した。

大気エアロゾルの観測的研究は、最も発表数が多かった。Goyal *et al.* (インド) の自動車による鉛濃度の測定、Ishizaka and Qian (日本) の酸性霧形成中の大気エアロゾルの分析、そのほか多くの地域 (シベリア、インド沿岸、中国大陸、モンゴル内部、砂漠地帯) でのエアロゾル粒子の粒径分布、化学成分等の報告があった。また、エアロゾル粒子の鉛直分布に関して、気象タワーを利用したもの (Kovalev and Smirnov (ロシア), Jin (中国)) と航空機を用いたもの (Hudson (米国), Anisimov (ロシア), Kovalev and Smirnov (ロシア)) とがあった。しかし、Jaenicke (ドイツ) のレビューで指摘されたように、まだ詳細な大気エアロゾルの物理的性質と化学成分に関する観測データは断片的である。また、リモートセンシングによってエアロゾルの粒径分布、光学的厚さを求める発表 (Rouault and Durkee (米国)) もあった。

新しい観測測器に関連したものでは、Mavliev (ロシア) が 100nm 以下の粒子の光学的測定法を、また Gazzi *et al.* (イタリア) が新しい視程計について、さらに Maser and Jaeschke (ドイツ) がドイツの航空機観測システムについて発表していた。

数値モデルを用いた研究では、Seidl and Dlugi (ドイツ) がエアロゾル粒径分布から断熱気塊モデルによって雲粒の数濃度を計算して世界各地の観測データと比較をし、Schult (ドイツ) は 2 次元全球輸送モデルを用いて特に火山爆発に重点を置いて成層圏エアロゾル層の形成を調べていた。また、Huang and Liu (中国) はエアロゾルの効果による雨の酸性化プロセスを調べ、Molnar *et al.* (ハンガリー) は大気エアロゾルの長距離輸送モデルによる結果を報告していた。

さらに、気候に関係したものとして、Koepke (ドイツ) のレビューのほかに、Chuang and Penner (米国) が気候モデルに 3 次元全球化学モデルを用いて人工起源の硫酸エアロゾルの気候への影響を調べ、温室効果

気体による昇温を打ち消す効果を持つことを発表したものが興味深かった。

このセッションで発表内容以外で印象的だったのは、Goyal *et al.* (インド) の発表がポスター発表から口頭発表に変更になったことである。これは、Saxena (米国在住、インド出身) が Goyal とともに発表の前日に福田先生のところへやってきて熱心に口頭発表の希望を訴え、福田先生がそのやる気を評価し該当するセッションの座長にその旨を伝えて実現したことである。この発表者の熱意が、何人もの人を動かしたのである。

3.5 その他

会議の始まる前夜と会議期間中には懇親会、同伴者ツアー、市内ツアーが、会議終了後には国立公園ツアー、ユタ大学気象学科雲物理研究室の見学があった。これらのプログラムも参加者相互の交流に役立ったと思われる。

4. おわりに

ニュークリエーションと大気エアロゾルに関する研究は、雲や降水、大気の状態に関連して進められているだけでなく、地球の放射収支、気候とも関連して広がり、重要性を増している。ニュークリエーションと大気エアロゾルに関する国際会議は、気象に関して最も小さなスケールの現象を対象としながら、気候のようなもっと大きなスケールの問題をも扱うようになってきている。今回の会議は、1992年8月現在のこれらの研究の現状認識が行われたとまとめられる。

会議の終わりに、CNAА (ニュークリエーションと大気エアロゾルに関する委員会) の chairman である Wagner 教授があいさつの中で次の第14回会議はフィンランドの Helsinki で開催されること、会議の co-chairman である福田教授が目標とした“おもしろく”“有益で”“実り多い”会議が実現されたことに感謝の意を述べ、参加者一同から拍手が贈られた。

参考文献

- 福田矩彦, 1989: ニュークリエーションと大気エアロゾルの第12回国際会議に出席して, 天気, 36, 119-120.
Fukuta, N. and P. E. Wagner eds., 1992: Nucleation and atmospheric aerosols. A. Deepak Publishing, 523pp.