

気象学入門講座(2)

雲物理を理解するために

樋 口 敬 二

一部の雲物理研究者によると、「雲物理は、もう過去の研究分野に属するのだ。」という。「だから、その回顧を書くにふさわしく、「入門」などいまさら必要あるまい」という極論が出てくる。一方、別の人たちによれば、「いや、とんでもない。雲物理は、未来の分野であり、発展段階にあるのだから、入門書をあげるほど固定してはいない。」という。いずれにせよ、「雲物理入門」を書くのがむずかしい、という点では一致しており、逆説的にいうと、雲物理とは、そんなふうに見方が両極端にわかれる分野だということを知っていただくのが、入門の第一歩なのかもしれない。

そんなわけで、「雲物理入門」は、おそらく、いろんな書き方ができるのだろうが、まず、平凡に、教科書、総合報告、論文、専門書という順序であげてみる。ただし、これから雲物理の研究者になろうとする人には、その前に、物理学の基礎的理解と、その新しい研究成果を知ろうとする努力が必要である。これは、気象学の他の分野でも同じであろうが、雲物理のように、物性物理学と密接な関係にある分野では、特に重要なのである。

さて、雲物理の教科書として、日本人が書いたものをあげられないのは残念だが、これは近刊予定の、**駒林誠：降水の物理学**に期待することにし、まず、**メイソン：雲と雨の物理**(大田正次、内田英治訳)を、現在一番よい教科書としてあげよう。**Mason: Clouds, Rain and Rainmaking**を訳したもので、訳書には、「雲の中のしくみと降水の人工制御」というたいへんいい副題がつけられているが、そのとおり、雲物理全般にわたった内容である。しかも著者がイギリス気象局長官となる前に、インペリアル・カレッジの物理学科の学生に対して行なった講義をもとにして書かれているので、教科書として、非常によくできている。

「むずかしい式やグラフは少なく、大変わかりやすくしてあり、長さも適当で読みやすい。」「話が抽象的に流れないように必ず具体的な数字をいれて書いてあり、説明が実に簡明で歯切れがよい。」(駒林誠による書評、『自然』1968年11月号)「読むほどに、彼(メイソン)が学生のために傾けた情熱のほどがうかがわれ、優れた彼の

教育の鍵はこれに違いないと悟った。」(孫野長治による紹介、『天気』1968年11月号)といった書評のとおりであり、訳もいいので、総合報告や論文を読む前に、まずこの本を読むことをすすめる。

メイソンの本より、やや程度の高いものとし、**高橋(喜)：降水の物理学**があり、刊行後年を経て、最近の成果が盛られていないが、当時までの研究をよく括めてある。

英文の教科書として、最新かつ親切的な教科書は、**Byers: Elements of Cloud Physics**で、気象学専攻の学生向きに書かれており、物理学や化学の基礎から書き起してあるのが、特徴である。ついで、**Fletcher: The Physics of Rain Clouds**, **Mason: The Physics of Clouds**という順で、対象の広がり、説明のくわしさを増した教科書があげられる。

つぎに、総合報告としては、気象研究ノートにまとめて掲載された解説と特集論文が雲物理全般についての展望によく、個々の問題では、**駒林：暖かい雨**, **磯野：降水機構に関する最近の研究**(特に凝結核と氷晶核を中心として)、**黒岩・大喜多：最近の霧の研究とその展望**があり、いずれも十年ほど前に書かれたため、「最近」ではなくなったが読んでおくべき解説といえよう。

これに相当する英文のものとしては、やや古いが、**Compendium of Meteorology: Cloud Physics**の項があげられる。また、同じく古いが、**Browne**ほか：**The Physics of Rain Clouds**をあげる人もある。新しいところでは、国際雲物理学会議、特に、東京・札幌コンファレンス、トロント・コンファレンスで発表された**総合報告**は、最新の研究までを含めて、問題点を知るのに役立つ。

これらの総合報告をみると、自然に、必読の論文はわかると思うが、その一部は、気象学会が刊行した**Selected Meteorological Papers**に収録されているので、これを利用するのが便利であろう。最後に、最新で注目すべき論文として、**駒林：雪の結晶と大気の物理学**をあげておきたい。そこには、雲物理がもっている一つの限界と可能性が示されていると思うからである。

さて、こうして、列挙してみると、最初にふれたような雲物理の回顧になった感もないではない。そこで、回顧のついでに、**土井利位：雪華図説**、**Bentley and Humphreys: Snow Crystals**、中谷：雪、雪の研究、**Snow Crystals**、岡田：雨をあげておこう。最新の報告を読むより、こうした開拓者の本を読んで、自分で観察して考える進め方を知るのが、あるいは、本当の雲物理入門かもしれないからである。

最後に、やや別系統ではあるが、雲の写真集をあげておく。まず第一に、薄くて、安い本だが、**Ludlam and Scorer: Cloud Study, A Pictorial Guide** をすすめたい。多くの雲の写真集がただ形態に注目しているに過ぎないのに、この本は、雲内の物理的過程と結びつけて、写真の説明をつけているのが、他に例のないすぐれた点である。それに比べると、**伊藤：雲、雲（文庫版）**、**雲の生態**などは、説明よりも写真が勝っていて、見る人によっては、研究のヒントを得るが、悪くすると、芸術的鑑賞におわるおそれが大きい。

形態と分類についてなら、**WMO: International**

Cloud Atlas が最高で、しかも、値段が意外に安いので、個人で持つことをすすめる。その一部だけ抜き出して作った **Abridged Atlas** もある。また、天気予報と結びつけたものに、**山本：雲**がある。そのほか、古典として、**藤原：雲**、**石丸：雲学各論**があり、手に入りにくいのが、機会があれば、一読するとよい。しかし、以上紹介した写真集は、いずれも、地上写真を主にしており、最近の航空機や人工衛星からの撮影によって判ってきた雲の配列、分布についてはふれられていない。だが、それらについては、この入門講座のうち、「雲の力学」という項目で括められると思うので、ここでは最新の論文として、**井沢：気象衛星の発展と静止衛星**に、地球上の雲の分布を示す写真が紹介されているので、読まれることをすすめておくにとどめる。

この稿を括めるに当って、磯野謙治、駒林誠、高橋敏の諸氏の御意見をきかせていただいた。ここに記して、謝意を表す。ただし、文責が筆者にあるのは、いうまでもない。

文献（本文中の文献を掲載頁に並べた）

教科書

- メイソン, B. J., 1962: 雲と雨の物理, (大田正次, 内田英治訳), 総合図書, 1-183.
 Mason, B. J., 1962: Clouds, rain and rainmaking, Cambridge University Press, Cambridge, 1-145.
 高橋喜彦 1957: 降水の物理学 (気象学講座第17巻). 地人書館, 1-117.
 Byers, H. R., 1965: Elements of cloud physics, The University of Chicago Press, Chicago & London, The University of Toronto Press, Toronto 5, Canada, 1-191.
 Fletcher, N. H., 1962: The physics of rainclouds, Cambridge University Press, Cambridge, 1-386.
 Mason, B. J., 1957: The physics of clouds, Oxford University Press, Oxford, 1-481.

総合報告

- 伊東暹ほか 1956: 気象研究ノート, 第7巻, 第1号, 15-48.
 今井一郎ほか 1956: 気象研究ノート, 第7巻, 第2号, 52-76.
 丸山晴久ほか 1962: 気象研究ノート, 特集 現場でできる雲物理の測定法, 第13巻, 第1号, 19-99.
 小林禎作ほか 1967: 気象研究ノート, 雲物理に関する特集号, 第93号, 525-597.
 駒林 誠 1958: 暖かい雨, 科学, **28**, 440-444.
 磯野謙治 1958: 降水機構に関する最近の研究—特に凝結核と氷晶核を中心として—, 科学, **28**, 603-11.
 黒岩大助, 大喜多敏一 1959: 最近の霧の研究とその展望, 気象研究ノート, 第10巻, 第5号, 248-294.
 Compendium of meteorology, 1951: American Meteorological Society, Boston, Massachusetts; Cloud physics, 165-244.
 Browne, I. G., H. P. Palmer and T. W. Wormell, 1954: The physics of rain clouds, Quart. Jour. Roy. Met. Soc. **80**, 291-327.
 Proceedings of the International Conference on Cloud Physics, May 24-June 1, 1965, Tokyo and Sapporo, 1-524.
 Proceeding of the International Conference on Cloud Physics, August 26-30, 1968, Toronto, Canada, 1-873.

論文

- Selected Meteorological Papers, No. 10, Cloud Physics, Compiled by the Meteorological Society of Japan, Nov. 1961.
 駒林 誠 1968: 雪の結晶と大気物理学, 科学, **38**, 239-246.

専門書および教養書

- 土井利位記, 小林禎作解説 1968: 正・続雪華図説覆刻版, 筑地書館。

- Bentley, W.A. and W.J. Humphreys, 1931: Snow Crystals, Dover Publications, Inc., New York, (1962), 1-226.
- 中谷宇吉郎 1938: 雪, (岩波新書) 岩波書店, 1-165.
- 中谷宇吉郎 1949: 雪の研究—結晶の形態とその形成, 岩波書店, 1-178
- Nakaya, U., 1954: Snow crystals, natural and artificial, Harvard University Press, Cambridge, 1-510.
- 岡田武松 1951: 雨, 岩波書店, 1-134.
- 雲の写真集**
- Ludlam, F. H. and R.S. Scorer, 1957: Cloud study, a pictorial guide, John Murray, London, 1-80.
- 伊藤洋三 1958: 雲, 気象協会, 1-134
- 伊藤洋三 1962: 雲, (現代教養文庫382), 社会思想社, 1-175.
- 伊藤洋三 1967: 雲の生態, 地人書館, 写真 1-206, 解説 1-59.
- World Meteorological Organization, 1956: International Cloud Atlas, vol. I, 1-155; vol. II, 写真 1-224; International Cloud Atlas, Abridged Atlas, 解説 1-56, 写真 1-72.
- 山本三郎 1968: 雲, その生態と天気予想, (山溪カラーガイド, 15), 山と溪谷社, 1--198
- 藤原咲平 1944: 雲, 岩波書店, 1-102
- 石丸雄吉 1954: 雲学各論 雲の写真と図解, 1-251
- 井沢竜夫 1969: 気象衛星の発展と静止衛星, 科学, 39, 45-52.

“氷晶核”という術語について*

磯野 謙 治**

近頃出版される気象学の教科書の中に“氷晶核”について記載される様になったことはその研究にたずさわるものとして喜ばしいことである。しかし、その用語法や概念に混乱がある様に思われるので、これについて私見を述べて、御批判を仰ぎたい。

“氷晶核”に相当する英語は“ice nucleus”あるいはice-forming nucleusである。その由来は次の通りである。ウェーゲナー(1911)¹⁾は大気中に氷晶が生ずるためには核が必要であることを示唆し、これを昇華核(Sublimationskern, 英 sublimation nucleus)とよんだ。後にフィンダイゼン(1938)²⁾はベルシェロンの降雨の氷晶理論を発展させるに当って降水過程の中に“昇華核”の概念を導入したことは余りにも有名である。その後、氷晶形成に関する研究が進み、ファーニア・ダルトン(1949)³⁾が低温膨脹箱の実験を行い氷晶は水飽和以上ではじめて形成されるという結果を得た。ワイクマン(1949)⁴⁾は固体表面上に氷晶が形成される最低過飽和度は水飽和付近にはなく、水飽和かこれに近いという実験結果を得た。これに基づいて、氷晶が生ずる際にはまず固体表面に水の薄層ができて、これが凍結するものと推

論した。このような実験事実から両者は共に、氷を形成する核は昇華核とよぶより凍結核(Gefrierkern 独, freezing nucleus 英)とよぶ方が適当であると主張した。これに関し、ホートン(1951)⁵⁾は氷晶形成の機構は未だ明かでないこと、ワイクマンの実験が氷晶の形成に先立って水の薄層ができることを示すものとしても、これは数分子層とも考えられること、この様な薄層からの氷晶の形成と水滴が凍る現象との間には物理的に差があること、場合によっては直接固体粒子の上に昇華することもあり得るし、その際下限過飽和度が水飽和でなくとも一向に不思議ではないとし、氷晶をつくる核をすべて凍結核とするのは適当でないと述べた。これは、当時未だ氷晶核の研究が進んでいない時として、また現時点においても卓見といってよいであろう。しかし、その後の研究者の中には、特に米国に於いて、氷晶を形成する核は凍結作用をするものと決めて、すべてを“凍結核”とよぶ人が多かった***。日本でもこれに習って同様な用語法をした文献が少くない。

現在では多くの雲物理学の論文でice nucleus(氷晶核)という術語が広く用いられ、特に氷晶形成の過程をexplicitに表現するときに昇華核(sublimation nucleus)、凍結核(freezing nucleus)という言葉が用いられている。

日本で発行されている大学教養程度の教科書では上述の用語法があいまいで、混乱があり、中には“氷晶核(freezing nuclei)”という組合せになっているものさえ

* On the term, “Hyoshokaku (ice nucleus)”

** K. Isono 名古屋大学理学部水質科学研究施設

*** この考え方は米国気象学会発行の Glossary of meteorology の “ice nucleus” の項の後半に強く現れている。しかしこれは妥当とは思えない。