

- 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。

ある。

また、凝結核と氷晶核の混同も少なからず見られ、また聞かれる。言うまでもなく前者は水蒸気の凝結を促進し水滴をつくる粒子で、後者は0℃以下で氷晶の形成を促進する粒子(核)である。この両機能は全く異っている。ある物質の粒子が場合によっては“凝結核”として、また“氷晶核”として働くことはあり得る。これは食塩(NaCl)とよばれる物質が水によく溶けるという属性と塩辛いという属性を同時に持っていることと同様である。“凝結核”、“氷晶核”は諸種の粒子の機能あるいは属性を表現、またはそれによって分類するための術語である。

上に述べた理由から次の様な用語法が適当ではなからうか。

- ① 氷晶核 (ice nucleus)
 (空气中の)水蒸気から氷晶の形成を促進させる粒子(その過程は問わない) { (a)昇華核 (sublimation nucleus)
 (b)凍結核 (freezing nucleus)

- ② 凍結核 (freezing nucleus) nucleus)
 水(水滴)の中で氷の結晶の形成を促進させる粒子。

- ③ 凝結核 (condensation nucleus)
 空気中で水滴の形成を促進させる粒子。

“氷晶は最もよい氷晶核”であるという言葉はパラドクシカルな表現としては良いが、科学的には概念を混乱させるので、氷晶核は氷以外の粒子に限定すべきであろう。メイソン・メイバンク(1958)⁶⁾などによるある種の固体粒子がある温度、過飽和度で氷晶核として働き、その上に氷晶が成長した後に低湿度になったため氷晶が昇

華し、マクロな意味での氷晶が残っていないとき再びある温度、過飽和度に持ち来されるとその上に氷晶の成長する現象、樋口・福田(1966)⁷⁾による固体の粒子の冷却による氷晶核能力の獲得の現象すなわちある種の記憶現象(極めて小さい氷晶が固体表面上または細孔内に残存しているためとの解釈が有力)は2次的氷晶核作用と考えて、最初の温度、過飽和度をその氷晶核作用温度、及び過飽和度とし、その粒子が第2の属性として“記憶(memory)作用”をもつとすれば、氷晶核は“氷以外の物質”に限ってもよいであろう。なお、雲の中で雪が破壊したり、過冷却水滴が破裂したときにできるスプリンターその他の氷微粒子が成長して氷晶の“増殖(multiplication)”が行われるという考えがあるが、このときスプリンターその他の大きさが次に述べる臨界胚芽の程度るときは別として、これらを氷晶核とよばず、スプリンター、微細氷粒などとよべば良いのではないだろうか。

nucleation—これには適当な日本語がなく“核化”、“核形成”などの言葉が用いられている一過程、特に homogeneous nucleation すなわち均質相から新しい相の出現がするとき、この新しい相の“かたまり”を胚芽(embryo, Keim 独)とよぶが、この種の胚芽のうち自由エネルギーの極大値をもつ臨界胚芽(critical embryo)以上を nucleus (核)とよぶことが多い。これをこれまで述べた意味で heterogeneous nucleation (不均質核化現象)の場合の nucleus と区別するために注意深く embryonic nucleus とよぶこともある。従って“胚芽核”とよぶのがよいかも知れない。御教示を乞いたい。

参考文献

- 1) Wegener, A. (1911): Thermodynamik der Atmosphäre. Leipzig.
- 2) Findeisen W. (1938): Die Kolloidmeteorologischen Vorgänge bei der Niederschlagsbildung. Met. Zeit. **55**, 10.
- 3) Fournier d'Albe E. M. (1949): Some Experiments on the Condensation of Water Vapor at Temperatures below 0°C., Q. J. R. Meteor. Soc. **75**, 1-14.
- 4) Weickmann, H. (1949): Die Eisphase in der Atmosphäre, Ber. deut. Wetterd. U.S. Zone Nr. **6**, 54pp.
- 5) Houghton, H.G. (1951): On the Physics of Clouds and Precipitation, Compendium of Meteorology, Edited by T. F. Malone Amer. Met. Soc., Massachusetts.
- 6) Mason, B. J. and J. Maybank (1958): Ice-nucleating Properties of Some Natural Minerals, Q. J. Roy. Met. Soc. **84**, 235-241.
- 7) Higuchi, K. and N. Fukuta (1966): Ice in the Capillaries of Solid Particles and Its Effect on Their Nucleating Ability, Jour. Atmos. Sci. **23**, 187-190.

訂正

気象学入門講座 一般気象学への手引 40頁右欄13行を「も少し増頁となっているので」……とする 42頁23行目416pを333pとする。