

山本義一教授の「大気放射の研究」に対し 学士院賞が与えられたことについて

関 原 彊*

このたび、山本義一教授が標題の御研究について学士院賞をうけられた。日頃何かと御指導をいただいている門下生の一人として衷心より祝意を表したいと思います。またこのたびの受賞を記念し、山本義一教授の研究概要について申し上げたいと存じます。

もう古いことになるが1968年8月のベルゲンで行なわれた気象放射シンポジウムについて山本先生が大気放射についての総合講演をされた。その題目は「雲粒とエアロゾル粒子中における放射伝達」というものであったが、その後の多くの学者の評価を聞いてもこの講演は大会におけるハイライトであるとして、その印刷化と共にコピーを送ってくれということを私までが何人もから依頼されたものである。

山本先生の大気放射の研究はまだ今後も続けられる筈のもので、勿論こまごまのものではないが、今この機会に先生の御仕事をふりかえて見ると、この時の講演は先生の仕事としても一つのハイライトのように思われる。それはこの種類の仕事に先生のこれまでの努力の集大成が見られるからであるが、これはまたとりもなおさず世界における現在までの気象放射学の歩みの大きな部分をなしているのである。

気象放射学とは大気による放射エネルギーの授受を論ずる学問であるが、これを組立てている各分野を考えて見ると第1に吸収とか散乱という素過程を研究する分野、第2に放射伝達の媒介になっている物質分布と放射場との関係を研究する分野に分けられる。上記雲中及びエアロゾル中における放射伝達の問題の中には霧粒による(吸収のある)非レーレー散乱、霧粒による熱放射、水蒸気による赤外放射という気象放射素過程の代表的問題が含まれると共に、これらが混在する媒質内での放射

場を解く問題は、各種の複合した Source Function をもった微積分方程式をとく壮大な計算になり、この問題の解決は現在のところ山本先生以外には世界でもよくなし得る人は少ないであろう。

山本先生の仕事は先づ大西氏との共著で「水蒸気の素外域の吸収係数」(1949年)からはじめられる。気象で問題にされるのは定量的吸収量であるが、これは通常分光物理学者の興味ではない。また当時は実験の精度も充分ではない。必然的に吸収の素過程にさかのぼった量子論的計算による基礎量の決定が必要になる。気象放射学の土台の組立ては常にこの素過程の研究から始まるわけであるが、山本研究室の一貫した態度として常にその時代の物理学の進展を見わたして、この量をさきめる努力がなされており、その後の水蒸気、炭酸ガス、オゾンについての研究はこの線に沿ったものである。以上は吸収係数の問題の第一歩であるが、大気中ではこれらの線スペクトル構造をもった吸収帯がすべての波長にわたり同じく大気の加熱冷却にかかわるのであり、更にそれぞれが温度、気圧の影響をうけるのである。又測定の場合も全波長域ではかる場合もあり、又部分波長域の場合でもその帯域は1本1本の巾程こまかくはない。そこでこの波長の平均化を行なって代表的な吸収係数を用いること、又用いた場合に放射場での減衰の法則は単純なベールの法則には従わないが、それがどの様な形になるかといった事が重要な課題となる。この様な問題に関して1950年前後において等間隔線構造につきモデル、不規則間隔構造につき Elsasser モデル、不規則間隔構造につき Goody

* T. Sekihara

—1970年4月3日受理—

モデルが発表されていたのであるが、山本先生はこれらの論文と実測データをもとにして大気放射計算の基礎量を水蒸気、炭酸ガスにつき決定された。これが主として笹森氏と共同でなされた1950年代後半の仕事である。

さて、大気放射の計算については1950年前後においては上向き放射と下向き放射の二方向に分けて計算することが行なわれ、そのために吸収係数は更に角度についてもその方向の平均値を用いる必要が出てくる。この種の計算はこれまでに Mügge & Möller, Elsasser, Robinson, Deacon 等によってなされ、それぞれ図式積分法が用いられていたわけであるが、1952年に発表された山本チャートはその中で最も合理的なものとして現在でも実用上の価値を残しているものである。

この仕事にひきつづき行なわれたのが放射場計算の厳密化であり、これが1950年代中頃の「地球大気放射平衡の研究」という題名の論文であるが、これは簡単にいえば1940年中頃から1950年にかけて天文学者 Chandrasekhar により開発された放射伝達理論の地球大気への応用である。その本質は前述の上下二方向に分割して計算することを更に細分化し、その極限の概念を用いて正確な微積分方程式を求めるわけであるが、地球大気の場合には光学的厚さが比較的うすい。もっと厳密な吸収係数のとり扱いが必要であるなど一段と困難な問題があ

る。山本先生はこの仕事によりとにかくある理想化された吸収係数のもとに厳密な解を求めることに成功し、その結果水蒸気量の緯度分布が大きく気温垂直分布の緯度効果を決定していることを示した。

1960年前後から気象放射学に新しい転機と分野が現われた。それは人工衛星による大気の遠隔測定である。これまでは物質と温度の垂直分布はあらかじめ分っていて、それから放射量を計算していたのであるが、今度は放射を測定して物質又は温度を推定する問題である。問題は積算された量から、その中の分布を推定する積分方程式をとくことになり、現在各種の数学的方法が競い発表されつつあるわけであるが、測定の方も目的に従い益々精度があがり、それに従って、そこに用いられる放射伝達理論も益々精密化することが必要となってくる。世界の気象放射学界は山本先生を見逃がす筈はなく、ここにアメリカ・エッサの招請により、山本先生のこの方面の活躍が始まるのである。先生のこの方面での仕事は炭酸ガスの 15μ 帯から温度を推定すること、水蒸気分布測定の問題、窓領域赤外放射から雲頂温度を出すこと等例により、あらゆる分野に開拓的な仕事をされつつあるわけで、はじめに述べたベルゲンでの報告あたりでは文字通り世界の気象放射学の頂点に立っているといつて過言ではない。

List of Scientific Papers

by Giichi Yamamoto

Part I Atmospheric Radiation, including Quantitative Spectroscopy

- G. Yamamoto, S. Yamamoto and B. Sato 1949: The Total Solar Radiation during the Annular Eclipse on May 9, 1948. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophysica*, **1**, 1-5.
 and G. Onishi 1949: Absorption Coefficient of Water Vapour in the far Infra-red Region. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys.*, **1**, 5.
 and G. Onishi 1949: Absorption Coefficient of Water-Vapour in the near Infra-red Region. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys.*, **1**, 71.
 1950: On Nocturnal Radiation. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys.*, **2**, 27.
 and G. Onishi 1951: Appendix to our Paper on "Absorption Coefficient of Water Vapour in the Far Infrared Region". *Sci. Rep. Tohoku Univ.*

Ser. 5, Geophysics, **3**, 73-77.

1951: On the Relation between Transmission Function of Column and that of Slab for Infra-Red Absorption Band. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys.*, **3**, 130-133.

1952: On a Radiation Chart. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys.*, **4**, 9-23.

1952: Effect of Radiative Transfer on the Vertical Distribution of Temperature in the Troposphere. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys.*, **4**, 64-70.

and G. Onishi : Absorption of Solar Radiation by Water Vapour in the Atmosphere. *Journ. of Meteorol.*, **9**, 415-421.

and G. Onishi 1953: A Chart for the Calculation of Radiative Temperature Changes. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys.*, **4**, 108-

115.
 1953: Radiative Equilibrium of the Earth's Atmosphere 1. The Grey Case. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys., **5**, 45-57.
 and T. Sasamori 1954: Measurement of Atmospheric Radiation. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys, **6**, 19-31.
 and T. Saito 1954: Transmissivity of the Infrared Radiation through Smokes. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys. **6**, 32-38.
 1955: Radiative Equilibrium of the Earth's Atmosphere. II. The Use of Rosseland's and Chandrasekhar's Means in the Line Absorbing Case. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys. **6**, 127-136.
 1955: Radiative Equilibrium of the Earth's Atmosphere. III. The Exact Solution for a Grey, Finite Atmosphere. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophysics. **7**, 1-9.
 1957: Estimation of Additional Downward Radiation from Aerosols over Large Cities. J. Met. Soc. Japan, The 75th Anniversary Volume, 1-4.
 and T. Sasamori 1957: Numerical Study of Water Vapour Transmission. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys. **8**, 36-45.
 and T. Sasamori 1958: Calculation of the Absorption of the 15 μ Carbon-Dioxide Band. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys. **10**, 37-57.
 and J. Kondo 1959: Effect of Surface Reflectivity for Long Wave Radiation on Temperature Profiles near the Bare Boil Surface. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys. **11**, 1-9.
 and D.Q. Wark 1962: Discussion of the Letter by R.A. Hanel, Determination of Cloud Altitude from a Satellite. J. Geophys. Research. **66**, 3596.
 1961: Numerical Method for Estimating the Stratospheric Temperature Distribution from Satellite Measurements in the CO₂ Bands. J. Met. **18**, 581-588.
 and T. Sasamori: Further Studies on the Absorption by the 15-Micron Carbon Dioxide Bands. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophysics **13**, 1-19.
 1962: Direct Absorption of Solar Radiation by Atmospheric Water Vapour, Carbon Dioxide and Molecular Oxygen. J. Atmosph. Sci. **19**, 182-188.
 D.Q. Wark, G. Yamamoto and J.H. Lienisch 1962: Methods of Estimating Infrared Flux and Surface Temperature from Meteorological Satellite. J. Atm. Sci. **19**, 369-384.
 D.Q. Wark, G. Yamamoto and J.H. Lienisch 1962: Infrared Flux and Surface Temperature Determinations from TIROS Radiometer Measurements. Meteorological Satellite Laboratory Report, No. 10, 1-84.
 D.Q. Wark, J. Alishouse, and G. Yamamoto 1963: Calculation of the Earth's Spectral Radiance for Large Zenith Angles. Meteorological Satellite Laboratory Report. No. 21. 1-45.
 D.Q. Wark, J. Alishouse, and G. Yamamoto 1964: Variation of the Infrared Spectral Radiance near the Limb of the Earth. Applied Optics, **3**, 221-227.
 M. Tanaka and K. Kamitani 1966: Radiative Transfer in Water Clouds in the 10-Micron Window Region. Jour Atmos. Sci., **23**, 305-313.
 and M. Tanaka 1966: Estimation of Water Vapor Distribution in the Atmosphere from Satellite Measurements. Proceedings of XVII the International Astronautical Congress. 253-267.
 and M. Aida 1967: Transmission due to Overlapping Lines. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. **7**, 123-141.
 M. Wolk, F. Van Cleef and G. Yamamoto 1967: Indirect Measurements of Atmospheric Temperature Profiles from Satellites; (v) Atmospheric Soundings from Infrared Spectrometer Measurements at the Ground. Monthly Weather Review. **95**, 463-467.
 and M. Aida 1968: Evaluation of the Transmission of the Q Branch of the CO₂ Band. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. **8**, 1307-1317.
 M. Tanaka and K. Arai 1968: Hemispherical Distribution of Turbidity Coefficient as Estimated from Direct Solar Radiation Measurements. J. Met. Soc. Japan., **46**, 278-300.
 M. Tanaka and T. Aoki 1968: Estimation of Rotational Line Widths of Carbon Dioxide Bands. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. **9**, 371-382.
 and M. Tanaka 1969: Determination of Aerosol Size Distribution from Spectral Attenuation Measurements. Applied Optics, **8**, 447-453.

Part II Atmospheric Turbulence, including Evaporation

- G. Yamamoto and M. Shiotani 1948: Turbulence in the Free Atmosphere (1st Report) Geophys. Mag., **20**, 21.
 and M. Shiotani 1949: Turbulence in the Free Atmosphere (2nd Report) Geophys. Mag., **20**, 105.
 and A. Miura 1949: On the Rate of Evaporation of Small Water Drops. Sci. Rep. Tohoku

Univ. Ser. 5, Geophys. **1**, 80.
 M. Shiotani and G. Yamamoto 1950: Atmospheric Turbulence over the Large City. Turbulence in the Free Atmosphere (3rd Report). Geophys. Mag. **21**, 134.
 and A. Miura 1950: Evaporation by Natural Convection. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys. **2**, 48.
 1950: Investigation of Evaporation from Pans. Trans. Amer. Geophys. Union, **31**, 349-356.
 1952: Influence of Stability on Turbulent Transfer Near the Ground. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys. **4**, 88-93.
 1959: Theory of Turbulent Transfer in Non-Neutral Conditions. J. Met. Soc. Japan Ser. **2**, **37**, 60-70.
 and A. Shimanuki 1960: Numerical Solution of the Equation of Atmospheric Turbulent Diffusion (1). Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys. **12**, 24-35.
 and A. Shimanuki 1964: The Determination of Lateral Diffusivity in Diabatic Conditions near the Ground from Diffusion Experiments. Jour. Atmos. Sci. **21**, 187-196.
 and A. Shimanuki 1964: Profiles of Wind and Temperature in the Lowest 250 Meters in Tokyo. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys. **15**, 111-114.
 and J. Kondo 1964: Evaporation from Lake Towada. Jour. Meteor. Soc. of Japan, Ser. II, **42**, 85-96.
 and A. Shimanuki 1966: Turbulent Transfer in Diabatic Conditions. J. Met. Soc. Japan Ser. II, **44**, 301-307.
 and J. Kondo 1968: Evaporation from Lake

Nojiri. J. Meteor. Soc. Japan. **46**, 166-177.
 N. Yasuda and A. Shimanuki 1968: Effect of Thermal Stratification on the Ekman Layer. J. Meteor. Soc. Japan. **46**, 442-456.

Part III Miscellaneous

G. Yamamoto 1939: The Measurement of the Amount of Dew at Hukuoka, Japan. Geophys. Mag. **10**, 265-268.
 1937: On the Rate of Condensation of Dew. Geophys. Mag. **11**, 91-96.
 and A. Yamamoto 1948: Effect of Wing Velocity on Psychrometer Constant. Geophys. Mag. **15**, 63-69.
 1946: Average Vertical Distribution of Water Vapour in the Atmosphere. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys. **1**, 76.
 and A. Miura 1951: Opacity at Sendai. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys. **3**, 23.
 and A. Miura 1951: Saturation Vapour Pressure and Size of Condensation Nucleus. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys. **3**, 34.
 S. Ogiwara, K. Yoshida, A. Miura, T. Okita and T. Ohtake 1952: Observations of the Rate of Growth of Ice Crystals Artificially Produced in the Atmosphere. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys. **4**, 83-87.
 and T. Ohtake 1953: Electron Microscope Study of Cloud and Fog Nuclei. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys. **5**, 141-159.
 and T. Ohtake 1955: Electron Microscopic Study of Cloud and Fog Nuclei. II. Distinction between Fog and Mist Nuclei. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys. **7**, 10-16.