

2005年度堀内賞の受賞者決まる

受賞者: 倉本 圭 (北海道大学大学院理学研究科)

研究業績: 地球および惑星における主要親気性元素の挙動に関する理論的研究

選定理由: 地球および惑星の大気の形成に関する研究は、気象学の基礎として重要であるばかりではなく、気候変動の問題とも密接に関係している。倉本 圭氏は、主に理論的手法により惑星の起源と進化における親気性元素の振る舞いについて多方面にわたる研究を行い、多くの業績を挙げている。

倉本氏の業績のうち、気候変動の問題を取り扱ったのは、CO₂極冠とH₂O氷床を考慮した火星の気候変動の研究である。火星は、地形などの痕跡から、過去において現在の寒冷な気候とは対照的な温暖な気候があったと推測されているが、いかにして気候の変動が生じ得たかが大きな問題であった。倉本氏はH₂O氷床に注目し、大気過程とH₂O氷床の相互作用を取り入れたエネルギー収支モデルを構築し、数気圧の温暖な二酸化炭素大気が千年程度の時間で一挙にドライアイスへと凝結し、寒冷な気候へと遷移することを示した。この研究は気候変動に伴う氷床地形や液体の水が安定に存在できる緯度範囲の変化のシミュレーションを可能にするものであり、火星の気候変動のさらなる解明に大きく貢献するものである。

また、倉本氏は、木星の水衛星エウロパの氷の下に海が存在することを、ガリレオ探査機による磁場のデータを検討することにより示した。従来、存在の可能性が考えられていた海の存在を固有磁場に着目して確認するというアイデアは、独創的であり高く評価される。

さらに倉本氏は、地球型惑星の形成期にH、C、Nなどの親気性元素が、大気-マントル-コア間にもどのように分配されるのかを明らかにすることを試みた。集積期の集積熱の解放と物質分化の物理機構を理論的に解析し、分化の進む場におけるガス-珪酸塩-金属鉄相互間の親気性元素分配の熱力学モデルを構築した。その結果、マントルに分配されたH₂Oの分化完了後の脱ガスと大気H₂の散逸が、大気とマントルをゆっくり酸化的状態に導くことを示し、地球大気が還元的な組成から酸化的な組成へと変化するシナリオが妥当であることを示した。従来の大

気起源論が希ガスなどのトレーサー物質を用いた間接的なアプローチであったのに対して、倉本氏の研究は主要元素の振る舞いを直接扱ったものである。

また、倉本氏は木星型惑星の水衛星（特に、タイタン、ガニメデ、カリスト）の形成過程について、数値シミュレーション的研究を行った。そこでは、集積熱による氷物質の蒸発に伴い形成される原始大気の保温効果・散逸・物質変成を考慮し、これらの衛星の分化過程を調べた。その結果、巨大水衛星は集積期に岩石コアと氷（水）マントルに分化するだけでなく、集積期に生ずる大規模な大気散逸によって、岩石に富む組成へと進化することを示し、より小さな衛星との密度差を定量的に説明した。また、タイタンの窒素大気の新たな起源モデルとして、高温原始大気中でのNH₃熱変成モデルを提唱した。

さらに、倉本氏は惑星起源物質に対する親気性元素の役割についても研究を広げており、原始太陽系星雲中の物質輸送・熱変成プロセスの理論的解析と始源的隕石の組成データの統計解析を総合し、物質組成の多様性をもたらす機構のモデルを提唱した。最近では、その発見から30年間未解明であった太陽系の酸素同位体比不均質の起源について、太陽系の母胎であった分子雲において、光化学過程を介して氷とガス間に同位体不均質がもたらされるとする有力な仮説を提唱し、広く注目を集めている。これらの研究は地球や惑星の大気の起源の統一的な理解への重要なステップと言える。

以上の理由から、日本気象学会は倉本 圭氏に今年度の堀内賞を贈るものである。

参考文献

- Kuramoto, K. and T. Matsui, 1994: Formation of a hot proto-atmosphere on the accreting giant-icy-satellite: Implications for the origin and evolution of Titan, Ganymede and Callisto, *J. Geophys. Res.*, **99**, 21183-21200.
- 倉本 圭, 1995: 地球と火星-HとCと初期分化について (*Earth and Mars: H, C, and early differentiation*), *遊星人* (日本惑星科学会誌), **4**, 201-214.
- Kuramoto, K. and T. Matsui, 1996: Partitioning of H and C between the mantle and core during the coreformation in the Earth: its implications for the

- atmospheric evolution and redox state of early mantle, *J. Geophys. Res.*, **101**, 14909-14932.
- Kuramoto, K., 1997: Accretion, core formation, H and C evolution of the Earth and Mars, *Phys. Earth Planet. Int.*, **100**, 3-20.
- 倉本 圭, 1997: 特集: 月の起源と進化 (Special issue, Origin and Evolution of the Moon), *遊星人* (日本惑星科学会誌), **6**, 196-198.
- 倉本 圭, 1998: 鉄のコアの観測可能性 (Feasibility of exploration of lunar iron core), *遊星人* (日本惑星科学会誌), **7**, 218-220.
- 倉本 圭, 西願寺善彦, 山本哲生, 2000: エウロパの海 (The ocean in Europa), *天気* (日本気象学会誌), **47**, 39-40.
- 千秋博紀・松井孝典・倉本 圭, 2000: 原始惑星の初期熱史について (Early thermal history of a proto-planet), *遊星人* (日本惑星科学会誌), **9**, 17-32.
- Senshu, H., K. Kuramoto and T. Matsui, 2002: Thermal evolution of a growing Mars, *J. Geophys. Res.*, **107** (E12), 5118, doi 10.1029/2001JE001819.
- 横島徳太・倉本 圭, 2001: 火星気候変動と CO₂ 極冠, H₂O 氷床 (Climate changes on Mars: CO₂ polar cap and H₂O ice sheet), *遊星人* (日本惑星科学会誌), **10**, 64-74.
- Yokohata, T., M. Odaka and K. Kuramoto, 2002: Role of H₂O and CO₂ ices in martian climate changes, *ICARUS*, **159**, 439-448.
- Yurimoto, H. and K. Kuramoto, 2004: Molecular cloud origin for the oxygen isotope heterogeneity in the solar system, *Science*, **305**, 1763-1766, doi: 10.1126/science.1100989.

受賞者: 青木周司 (東北大学大学院理学研究科)

研究業績: 極域における温室効果気体の挙動に関する研究

選定理由: 温室効果気体の挙動を解明することは、地球温暖化の現状を理解し、将来の予測を行う上で不可欠である。

青木周司氏は、東北大学大学院理学研究科博士課程を修了後、国立極地研究所および東北大学において、一貫して極域における温室効果気体の観測的研究に取り組んできた。

青木氏は、東北大学・極地研究所の共同研究を推進し、1984年に開始した昭和基地における二酸化炭素 (CO₂) の系統的観測を維持・継続するとともに、メタン (CH₄) とオゾン (O₃) の高精度観測を新たに開始し、さらに同様な観測を1991年に北極スパー

ルバル諸島ニーオルスン基地へ拡大した。これらの観測を基に、南極および北極での関連気体の挙動、および両極域の類似性と相違性について考察した。その結果、CO₂の経年増加に重畳した年々変動は、エルニーニョ現象や火山噴火に伴う気候変動による大気-陸上生物圏間のCO₂交換の不均衡によって主に生ずるが、変動を生み出す原因によって、その位相と振幅が南北両極域において異なること、またニーオルスン基地でのCO₂の季節変化は主に陸上生物活動によって生み出されているが、昭和基地の季節変化には、季節によって経路が異なる大気輸送が重要な役割を果していることを明らかにした。CH₄については、昭和基地での高精度連続観測から、濃度の増加傾向が1990年代に急速に鈍化していることを見だし、その事実を可能な原因とともに世界で最も早い段階で公表し、注目を集めた。この傾向は、その後の観測から全球的な現象であることが判明し、具体的原因の究明が今日のCH₄循環における最重要課題となっている。また、CH₄濃度の年々変動がCO₂と逆位相となっていることも新たに発見し、気候変動に起因したCH₄の発生・消滅の変化の観点から検討を行った。さらに、昭和基地とニーオルスン基地でのO₃の連続観測から、春先に地上O₃が一時的にほとんど消失することがしばしば起こることを新たに発見し、その後のオゾンゾンデによる観測によって、O₃破壊が起こる気層は地上から数kmに達していることを明らかにした。また、この現象が観測された気塊中ではエアロゾル濃度が極端に高いことを見だし、エアロゾルがO₃破壊の要因となっている可能性を指摘した。

以上のような対流圏観測に加え、青木氏は、極域の成層圏における大気微量成分の挙動を解明するために、1997年にスウェーデンのキルナ、1998年と2004年に昭和基地においてクライオジェニックサンプラーを用いた大気球観測を中心となって推進した。これらの観測を基に、極域成層圏における温室効果気体の時間・空間変動を明らかにするとともに、その形成メカニズムを低緯度からの大気輸送や極渦、光化学反応と関連させて解釈し、極域への物質輸送の解明に貢献した。

青木氏は、さらにCO₂の重要な吸収源となっている海洋にも注目し、深層水が形成されるグリーンランド海とバレンツ海を対象として、表層海洋のCO₂分圧や海洋中の溶存無機炭素濃度、その炭素同位体

比、海洋生物活動を支配する栄養塩などを1992年から10年間にわたって測定した。これらの観測から、両海域でのCO₂の吸収過程を検討するとともに、吸収量の季節変化と年平均値を推定した。極域海洋は炭素循環において重要な役割を果たしているが、極めて厳しい環境にあるために観測が限られているのが現状であり、本研究の結果は両海域のCO₂吸収について貴重な知見を与えるものである。

以上で述べたように、青木氏は南北両極域における温室効果気体の観測的研究を強力に推進し、特筆すべき顕著な成果を挙げたことは明らかであり、気候変動研究の発展に大きな貢献を果たした。

以上の理由から、日本気象学会は青木周司氏に今年度の堀内賞を贈るものである。

参 考 文 献

- 青木周司, 川口貞男, 1990: 大気中のメタン濃度高精度観測システムの開発, 南極資料, **34**, 263-278.
- Aoki, S., T. Nakazawa, S. Murayama and S. Kawaguchi, 1992: Measurements of atmospheric methane at Japanese Antarctic Station, Syowa, *Tellus*, **44B**, 273-281.
- Aoki, S., T. Nakazawa, S. Murayama and S. Kawaguchi, 1992: Precise measurements of atmospheric methane concentration at Syowa Station (69°00'S, 39°35'E), *Antarctica, Polar Meteorol. Glaciol.*, **5**, 56-65.
- Aoki, S., T. Nakazawa, S. Murayama, M. Fukabori, T. Yamanouchi, H. Murayama, M. Shiobara, S. Kawaguchi and M. Tanaka, M., 1992: Atmospheric carbon dioxide measurements at Syowa Station, Antarctica, 1984-1988, *Polar Meteorol. Glaciol.*, **5**, 66-75.
- Aoki, S. and T. Nakazawa, 1994: Relationship between atmospheric CO₂ and CH₄ concentrations at Syowa Station, Antarctica, *Polar Meteorol. Glaciol.*, **8**, 14-18.
- Aoki, S., S. Morimoto, S. Ushio, H. Ito, T. Nakazawa, T. Yamanouchi, N. Ono and T. Vinge, 1996: Carbon dioxide variations in the Greenland Sea, *Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **51**, 299-306.
- Aoki, S., T. Nakazawa, H. Honda, N. Yajima, T. Machida, S. Sugawara, K. Kawamura and S. Yoshimura, 1998: CO₂, CH₄ and N₂O concentrations and $\delta^{13}\text{C}$ in CO₂ and CH₄ in the stratosphere, *Proceedings of the 21 International Symposium on Space Technology and Science, Vol. II*, 1568-1571.
- Aoki, S., T. Nakazawa, T. Machida, S. Sugawara, S. Morimoto, G. Hashida, T. Yamanouchi, K. Kawamura and H. Honda, 2003: Carbon dioxide variations in the stratosphere over Japan, Scandinavia and Antarctic, *Tellus*, **55B**, 178-186.
- Morimoto, S., T. Nakazawa, S. Aoki, G. Hashida and T. Yamanouchi, 2003: Concentration variations of atmospheric CO₂ observed at Syowa Station, Antarctica from 1984 to 2000, *Tellus*, **55B**, 170-177.
- Nakazawa, T., S. Aoki, K. Kawamura, T. Saeki, S. Sugawara, H. Honda, G. Hashida, S. Morimoto, N. Yoshida, S. Toyoda, Y. Makide and T. Shirai, 2002: Variations of stratospheric trace gases measured using a balloon-borne cryogenic sampler, *Adv. in Space Res.*, **30**, 1349-1357.
- Toyoda, S., N. Yoshida, T. Urabe, Y. Nakayama, T. Suzuki, K. Tsuji, K. Shibuya, S. Aoki, T. Nakazawa, S. Ishidoya, K. Ishijima, S. Sugawara, T. Machida, G. Hashida, S. Morimoto and H. Honda, 2004: Temporal and latitudinal distributions of stratospheric N₂O isotopomers, *J. Geophys. Res.*, **109**, D08308, doi: 10.1029/2003JD004316.
- Wessel, S., S. Aoki, P. Winkler, A. Herber, H. Gernandt and O. Schrems, 1997: Aerosol and ozone observations in the polar troposphere at Spitsbergen in spring 1994, *Atmos. Res.*, **44**, 175-189.
- Wessel, S., S. Aoki, R. Weller, P. Winkler, A. Herber, H. Gernandt and O. Schrems, 1998: Tropospheric ozone depletion in polar regions. A comparison of observations in the Arctic and Antarctic, *Tellus*, **50B**, 34-50.