

## 2017年度日本気象学会賞の受賞者決まる

受賞者：猪上 淳（情報・システム研究機構 国立極地研究所）

業績：北極の大気循環および大気-海氷-海洋相互作用の研究

選定理由：

近年、地球温暖化に伴い、北極域は著しい温暖化が進むとともに、海氷域の急減が目立っている。この海氷急減は、大気に大きな影響を与え、さらには北極域に限らず、中緯度域の気象・気候にまで影響を及ぼしていることが指摘されている。

猪上氏は、この現象に早くから注目し、北極バレンツ海の海氷の多寡が大気の応答を通じて中緯度の気候にまで影響を与える可能性を提起して、本田明治氏ほかとともに、北極海氷の減少がユーラシア東部の冬の寒波に影響していることを初めて明瞭に示した論文を発表した（Honda *et al.* 2009）。この論文は、季節平均や月平均の場で見えており、現象論的考察がなされていないことから、猪上氏はさらに大気の再解析データの解析を進め、総観規模擾乱の立場から現象を解釈し、バレンツ海における海氷の多寡と、当該海域の低気圧活動およびユーラシア大陸上の高気圧の強弱とに密接な関係のあることを見出した（Inoue *et al.* 2012）。このシベリア高気圧は、北極海に暖気移流をもたらし北極温暖化を増幅するとともに、シベリア東部には寒気移流をもたらし、ひいては、日本の冬の寒さ、豪雪につながるというものである。即ち、バレンツ海の海氷が少ないことが、「暖かい北極と寒いシベリア偏差（warm Arctic cold Siberia：WACS）」を引き起こしているという議論を不動のものにした。この論文の評価は高く、アメリカ気象学会誌（BAMS）の“Papers of Note”に選ばれたほか、わが国でも多くの報道がなされ、季節予報における北極海氷分布の重要性が注目されるようになった。

猪上氏は、その後も、共同研究者や指導大学院学生らとともに研究を進め、国際的にも大変注目されているこの研究分野の中で存在感を高めてきた（Sato *et al.* 2014；Mori *et al.* 2014；Nakanowatari *et al.* 2014）。これらの研究は、自身が参加した海洋地球研究船「みらい」による北極海でのラジオゾンデ観測やドップラーレーダー観測などによって裏付けられている。海氷縁で発生・発達する低気圧と海洋構造との熱的考察（Inoue and Hori 2011）や、観測データを用いて日本

の再解析データの海氷上のパラメタリゼーションの脆弱性を指摘できたのは (Inoue *et al.* 2011)、大気-海氷-海洋結合系を意識した綿密な観測を構築したからである。こうして猪上氏は、砕氷船ではない日本の「みらい」が国際北極観測プロジェクト立案時でも一目置かれる存在になることにも貢献している。北極海上には観測データが少ないことから、猪上氏は再解析データや現業予報で使われているデータ同化手法の利用にも着目し、同海域における気象・海氷の予測可能性研究を開始している (Inoue *et al.* 2013, 2016; Ono *et al.* 2016)。

猪上氏は、これらの成果を基礎に新しい北極域での研究も企画・推進している。「北極域研究推進プロジェクト (ArCS: 2015-2020)」では、気象課題の PI をつとめるとともに、現在 WMO の下で国際的に進められている極域予測年 (YOPP) でも、日本からの推進委員として計画策定に参加するなど、国内外において研究を主導している。同時に、国際北極科学委員会 (IASC) の大気作業部会員、多圏北極気候研究漂流観測計画 (MOSAIC) への日本の参加など、国際的な研究パイプの強化に貢献している。猪上氏のこれまでの研究実績とそれに基づく国際的な協力関係の構築は、日本の気象学にとっても大きな功績であり、今後の北極研究への貢献が期待される。

以上の理由により、猪上 淳氏に 2017 年度日本気象学会賞を贈呈するものである。

#### 主な関連論文

Honda, M., J. Inoue and S. Yamane, 2009: Influence of low Arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L08707, doi:10.1029/2008GL037079.

Inoue, J. and M. E. Hori, 2011: Arctic cyclogenesis at the marginal ice zone: A contributory mechanism for the temperature amplification? *Geophys. Res. Lett.*, 38, L12502, doi: 10.1029/2011GL047696.

Inoue, J., M. E. Hori, T. Enomoto and T. Kikuchi, 2011: Intercomparison of surface heat transfer near the Arctic marginal ice zone for multiple reanalyses: A case study of September 2009. *SOLA*, 7, 57-60.

Inoue, J., M. E. Hori and K. Takaya, 2012: The role of Barents Sea ice on the wintertime cyclone track

and emergence of a warm-Arctic cold-Siberian anomaly. *J. Climate*, 25, 2561-2568.

Inoue, J., T. Enomoto and M. E. Hori, 2013: The impact of radiosonde data over the ice-free Arctic Ocean on the atmospheric circulation in the Northern Hemisphere. *Geophys. Res. Lett.*, 40, 864-869.

Sato, K., J. Inoue and M. Watanabe, 2014: Influence of the Gulf Stream on the Barents Sea ice retreat and Eurasian coldness during early winter. *Environ. Res. Lett.*, 8, 084009, doi:10.1088/1748-9326/9/8/084009.

Nakanowatari, T., K. Sato and J. Inoue, 2014: Predictability of the Barents Sea ice in early winter: Remote effects of oceanic and atmospheric thermal conditions from the North Atlantic. *J. Climate*, 27, 8884-8901.

Mori, M., M. Watanabe, H. Shiogama, J. Inoue and M. Kimoto, 2014: Robust Arctic sea-ice influence on the frequent Eurasian cold winters in past decades. *Nature Geosci.*, 7, 869-873.

Inoue, J., A. Yamazaki, J. Ono, K. Dethloff, M. Maturilli, R. Neuber, P. Edwards and H. Yamaguchi, 2016: Additional Arctic observations improve weather and sea-ice forecasts for the Northern Sea Route. *Sci. Rep.*, 5, 16868, doi:10.1038/srep16868.

Ono, J., J. Inoue, A. Yamazaki, K. Dethloff and H. Yamaguchi, 2016: The impact of radiosonde data on forecasting sea-ice distribution along the Northern Sea Route during an extremely developed cyclone. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 8, 292-303.

受賞者：渡邊真吾，河谷芳雄（海洋開発研究機構）

業績：重力波解像モデルを用いた中層大気大循環の研究

選定理由：

成層圏・中間圏・下部熱圏から構成される中層大気は、波と平均流の相互作用や乱流混合などの力学過程や成層圏オゾンに関わる化学・放射過程等を通して大気大循環や特徴的な温度構造が維持されている領域である。近年、オゾンホールや成層圏と対流圏の結合過

程を通した地上気候への影響が注目され、中層大気全体の運動量収支に関する定量的議論の必要性が唱えられている。中層大気の大循環においては、重力波による運動量輸送が重要な役割を演ずることが理論的・観測的研究から指摘されていたが、気候モデルの多くは中間圏を含むようになってきているものの解像度が粗く、重力波はパラメタリゼーションの方法で扱っているため、その定量的な把握には限界があった。しかし、電子計算機が目覚ましい発展により、中層大気の大循環モデルにおいても高解像度化が進められるようになった。渡邊真吾氏・河谷芳雄氏を含む6人の研究者による重力波解像可能な大気大循環モデルを用いた中層大気力学の研究プロジェクト（KANTO プロジェクト）が実施され、両氏も同プロジェクト研究に大きく貢献した。

渡邊氏は、KANTO プロジェクトの中で高解像度中層大気大循環モデルの上端高度を上部中間圏に引き上げるモデル開発を行い、地球シミュレータを用いた3モデル年に亘る長期の数値積分を担った。このとき準2年周期振動（QBO）の様相を呈する赤道下部成層圏振動を再現するべく、下部成層圏における重力波の観測的特徴を再現するように共同研究者とともに慎重なモデル設定を行っている。このモデルでは重力波パラメタリゼーションを全く用いておらず、重力波は解像波という意味でロスビー波と対等である。まず渡邊氏は降水分布や波数スペクトルなどを丹念に調べ、開発したモデルが気候モデルとしての十分な性能を持つことを示した。そして、重力波、総観規模波、プラネタリー波の各波動に分解し運動量収支を解析した。その結果、それまで定量的理解が不十分であった中間圏における各波強制と気温、東西風の詳細な構造、それらの関係の解明に成功した（Watanabe *et al.* 2008a）。中間圏の冬季においては、4日波と呼ばれる惑星規模波の卓越が知られている。渡邊氏は、モデルにおいても同様な波が傾圧・順圧不安定により発生していることを確認すると共に、4日波が重力波強制とは逆の平均風強制を与えることを明らかにした（Watanabe *et al.* 2009）。渡邊氏はこの研究以外にも、高解像度大循環モデル研究により南極カタバ風起源の重力波が極成層圏雲の消滅に寄与するという指摘や（Watanabe *et al.* 2006）、非局所熱力学平衡を含む放射過程を組み込んで下部熱圏も再現可能な大循環モデル（JAGUAR）を開発し、下部熱圏で重要となる惑星規模の潮汐波が水平波長数百 km ~ 数千 km の重力波に

よる強制によって構造が大きくゆがめられること等の斬新な成果を得ている (Watanabe and Miyahara 2009)。また、重力波運動量フラックスのモデル鉛直分解能依存性など、今後の高解像モデルによる重力波再現に必要な基礎的な研究等も行っている (Watanabe 2008; Watanabe *et al.* 2015)。渡邊氏は、現所属機関のプロジェクトにおいても卓越したモデル開発能力を発揮し、大気大循環モデルに、微量気体成分やエアロゾルの分布とその化学・放射過程を計算するモデルや陸面・海洋の物理・化学・生態系を表現するモデルを結合させた「地球システム統合モデル」を中心となって完成させ、これを用いた丁寧な気候変動研究もリーダーとして展開している (Watanabe *et al.* 2011a, b)。

河谷氏は、渡邊氏と共に KANTO プロジェクトにおいて数値積分を担うと共に、近年、赤道対流圏への影響も議論されている赤道下部成層圏 QBO の駆動メカニズムの定量解析を行った。QBO の駆動は、1990 年代の研究により、重力波と赤道ケルビン波が主な担い手であることが明らかとなっていたが、赤道域においては、中緯度と異なり数十 km ~ 数千 km の内部重力波に加え赤道に捕捉された惑星規模の重力波も存在すること、QBO の位相下降速度とほぼ同じ大きさの成層圏ブリュワー・ドブソン循環 (BDC) に伴う赤道上昇流が存在することから、これらの現象も考慮した定量的な解明が待たれていた。河谷氏はこの問題に取り組み、モデルで再現された QBO の様相を呈する赤道下部成層圏振動に関する各波動の伝播特性や中緯度ロスビー波の影響、残差子午面循環等の解析により、南北構造や、東西非一様性も含む QBO 駆動に関する包括的な研究を行った (Kawatani *et al.* 2010a, b)。また、河谷氏は、衛星観測データとモデルを用いた水蒸気の年々変動の解析を行い、QBO に伴う温度や鉛直風の変動が大きく影響を与えていることを示している (Kawatani *et al.* 2014)。さらに、河谷氏は、気候予測モデルを用いて、温室効果気体の増加に伴う QBO の変動も調べた (Kawatani *et al.* 2011, 2012)。そして、1953 年以降のラジオゾンデ観測データの解析にも取り組み、QBO の振幅が経年的に弱化していることを発見した。河谷氏は、QBO を再現する国内外のモデルのデータを集めて解析も行い、温室効果気体の増加に伴って QBO が弱まり、BDC の赤道上昇流が強まっていることを突き止めた (Kawatani and Hamilton 2013)。この成果は、人間活動の影響が、波と平均流

の相互作用を介して、中層大気大循環を構成する QBO や BDC などの複数の主要要素を連動的に変調し、オゾンや水蒸気等の物質分布と変動に大きく影響することを示唆している。

渡邊氏は WCRP のプロジェクト SPARC (成層圏と対流圏の諸過程と気候への影響研究) における DynVar (成層圏・対流圏の力学と変動のモデリングプロジェクト)、QBOi (QBO に関するモデル研究プロジェクト) において、河谷氏は同じく QBOi、S-RIP (成層圏再解析比較プロジェクト) (Kawatani *et al.* 2016) において、それぞれ主要な研究者の 1 人として国際的な共同研究活動を行っている。また両者とも ICSU/IAMAS/ICMA の委員も務めるなど、その実力は国際的にも認められている。このように、渡邊真吾氏と河谷芳雄氏は、今後中層大気研究分野の将来を担う研究者として活躍が大いに期待されている。

以上の理由により、両氏に 2017 年度日本気象学会賞を贈呈するものである。

本業績に関わる渡邊真吾氏の代表的論文 (発表順)

- Watanabe, S., K. Sato and M. Takahashi, 2006: A general circulation model study of the orographic gravity waves over Antarctica excited by katabatic winds. *J. Geophys. Res.*, 111, D18104, doi:10.1029/2005JD006851.
- Watanabe, S., Y. Kawatani, Y. Tomikawa, K. Miyazaki, M. Takahashi and K. Sato, 2008a: General aspects of a T213L256 middle atmosphere general circulation model. *J. Geophys. Res.*, 113, D12110, doi:10.1029/2008JD010026.
- Watanabe, S., H. Miura, M. Sekiguchi, T. Nagashima, K. Sudo, S. Emori and M. Kawamiya, 2008b: Development of an atmospheric general circulation model for integrated Earth system modeling on the Earth Simulator. *J. Earth Simulator*, 9, 27-35.
- Watanabe, S., 2008: Constraints on a non-orographic gravity wave drag parameterization using a gravity wave resolving general circulation model. *SOLA*, 4, 61-64.
- Watanabe, S., Y. Tomikawa, K. Sato, Y. Kawatani, K. Miyazaki and M. Takahashi, 2009: Simulation of the eastward 4-day wave in the Antarctic winter mesosphere using a gravity wave resolving

- general circulation model. *J. Geophys. Res.*, 114, D16111, doi:10.1029/2008JD011636.
- Watanabe, S. and S. Miyahara, 2009: Quantification of the gravity wave forcing of the migrating diurnal tide in a gravity wave-resolving general circulation model. *J. Geophys. Res.*, 114, D07110, doi:10.1029/2008JD011218.
- Watanabe, S., K. Sudo, T. Nagashima, T. Takemura, H. Kawase and T. Nozawa, 2011a: Future projections of surface UV-B in a changing climate. *J. Geophys. Res.*, 116, D16118, doi:10.1029/2011JD015749.
- Watanabe, S., T. Hajima, K. Sudo, T. Nagashima, T. Takemura, H. Okajima, T. Nozawa, H. Kawase, M. Abe, T. Yokohata, T. Ise, H. Sato, E. Kato, K. Takata, S. Emori and M. Kawamiya, 2011b: MIROC-ESM 2010: model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments. *Geosci. Model Dev.*, 4, 845-872.
- Watanabe, S. and Y. Kawatani, 2012: Sensitivity of the QBO to mean tropical upwelling under a changing climate simulated with an Earth system model. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 351-360.
- Watanabe, S., K. Sato, Y. Kawatani and M. Takahashi, 2015: Vertical resolution dependence of gravity wave momentum flux simulated by an atmospheric general circulation model. *Geosci. Model Dev.*, 8, 1637-1644.

本業績に関わる河谷芳雄氏の代表的論文（発表順）

- Kawatani, Y., K. Ninomiya and T. Tokioka, 2008: The North Pacific subtropical high characterized separately for June, July, and August: Zonal displacement associated with submonthly variability. *J. Meteor. Soc. Japan*, 86, 505-530.
- Kawatani, Y., M. Takahashi, K. Sato, S. P. Alexander and T. Tsuda, 2009: Global distribution of atmospheric waves in the equatorial upper troposphere and lower stratosphere: AGCM simulation of sources and propagation. *J. Geophys. Res.*, 114, D01102, doi:10.1029/2008JD010374.
- Kawatani, Y., K. Sato, T. J. Dunkerton, S. Watanabe, S. Miyahara and M. Takahashi, 2010a:

- The roles of equatorial trapped waves and internal inertia-gravity waves in driving the quasi-biennial oscillation. Part I: Zonal mean wave forcing. *J. Atmos. Sci.*, 67, 963-980.
- Kawatani, Y., K. Sato, T. J. Dunkerton, S. Watanabe, S. Miyahara and M. Takahashi, 2010b: The roles of equatorial trapped waves and internal inertia-gravity waves in driving the quasi-biennial oscillation. Part II: Three-dimensional distribution of wave forcing. *J. Atmos. Sci.*, 67, 981-997.
- Kawatani, Y., K. Hamilton and S. Watanabe, 2011: The quasi-biennial oscillation in a double CO<sub>2</sub> climate. *J. Atmos. Sci.*, 68, 265-283.
- Kawatani, Y. and K. Ninomiya, 2011: The North Pacific subtropical high in August in twentieth-century CMIP3 multimodel dataset. *J. Meteor. Soc. Japan*, 89, 375-386.
- Kawatani, Y., K. Hamilton and A. Noda, 2012: The effects of changes in sea surface temperature and CO<sub>2</sub> concentration on the quasi-biennial oscillation. *J. Atmos. Sci.*, 69, 1734-1749.
- Kawatani, Y. and K. Hamilton, 2013: Weakened stratospheric quasibiennial oscillation driven by increased tropical mean upwelling. *Nature*, 497, 478-481.
- Kawatani, Y., J. N. Lee and K. Hamilton, 2014: Interannual variations of stratospheric water vapor in MLS observations and climate model simulations. *J. Atmos. Sci.*, 71, 4072-4085.
- Kawatani, Y., K. Hamilton, K. Miyazaki, M. Fujiwara and J. Anstey, 2016: Representation of the tropical stratospheric zonal wind in global atmospheric reanalyses. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 6681-6699.