

オゾンに関する観測的研究の将来展望： 2018年秋季オゾン研究連絡会の報告

林田佐智子*1・竹内綾子*2・金谷有剛*3・高島久洋*4
藤原正智*5・宮崎和幸*6・笠井康子*7

1. はじめに

2018年2月に気象庁のオゾン・紫外線観測の再編が行われ、札幌と那覇のオゾンゾンデ観測等が終了した。5月にはドイツで開催されたWMO/GAWのSAG-Ozone(オゾン科学諮問部会)にて、気象庁より観測終了の報告がなされた。この件を懸念し再考を依頼するために、6月にはIO3C(国際オゾン委員会)から、8月にはNDACC(大気組成変化モニタリングネットワーク)から、気象庁長官宛てにsupport letterが送付された。この観測終了は、観測・解析技術の進展等を踏まえた判断と思われるが、科学的見地より極めて残念な面がある。そこで、2018年度秋季大会中のオゾン研究連絡会(2018年10月29日開催)において、これまでこれらの観測がもたらした成層圏・対流圏オゾンに関する科学的知見をあらためて振り返り、将来へ向けた議論を行った。特に、これまでに蓄積された貴重なデータの活用、実測データのない地点での情報の補完方法、継続されているつくばと昭和基地におけるオゾンゾンデ観測やその他のオゾン観

測(全量観測、衛星観測等)、紫外線観測の有用性などを議論した。また、データ同化への活用など数値モデルとの連携や、官庁と研究コミュニティが一体となった長期観測の維持の在り方などについても、活発な議論がおこなわれた。参加者は、気象庁関係者約10名を含む30名程度であった。

はじめに、オゾン研究連絡会世話人代表の林田が本会の趣旨説明をおこない、その後、竹内が「気象庁のオゾン観測・解析に関する取り組み」に関して、藤原が「オゾンゾンデ観測に関する世界的動向」に関して講演をおこなった。その後、世話人のひとりである金谷が議論すべき点を整理しつつ、参加者全員で意見交換をおこなった。以下に、講演の概要と議論のまとめを記す。

2. 日本のオゾン観測について(本会趣旨説明) (林田)

本講演では、まず、成層圏と対流圏のオゾンの役割、観測の歴史と各種地上観測機器の原理、オゾン層破壊問題と温暖化問題について概説した。また近年の関心事である環境問題の視点から、日本のオゾンゾンデ観測データの解析例として那覇上空の対流圏オゾン増大現象などを紹介した(山口・林田2018)。その上で、議論時に考慮すべき点として、研究の発展、環境監視に加え、日本の地球観測に対する予算減少、公務員削減、気象庁の負担増加(災害の増加など)についても配慮が必要であることを指摘した。

なお、日本の近年のオゾン層監視体制と本オゾン研究連絡会設立の経緯は以下の通りである。1987年に「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」が採択され、その締約国である日本では1988年

*1 Sachiko HAYASHIDA, 奈良女子大学.

*2 Ayako TAKEUCHI, 気象庁 地球環境・海洋部 環境気象管理官付 オゾン層情報センター.

*3 Yugo KANAYA, 海洋研究開発機構.

*4 Hisahiro TAKASHIMA, 福岡大学.

*5 (連絡責任著者) Masatomo FUJIWARA, 北海道大学. fuji@ees.hokudai.ac.jp

*6 Kazuyuki MIYAZAKI, 海洋研究開発機構(現所属: NASA Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology).

*7 Yasuko KASAI, 情報通信研究機構.

© 2019 日本気象学会

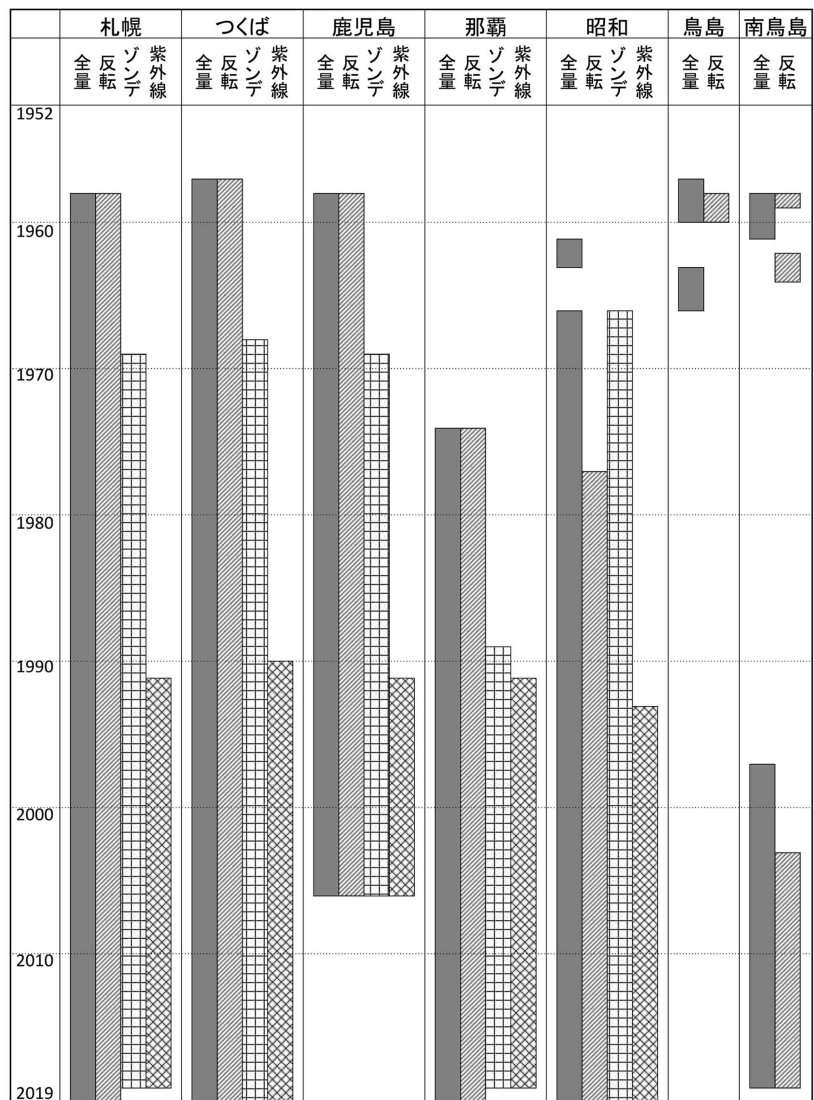
に「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律（オゾン層保護法）」が制定された。この法律において、「環境大臣はオゾン層の状況及び大気における特定物質の濃度の状況に関する気象庁による観測の成果等を活用しつつ、特定物質によるオゾン層の破壊の状況及び大気中における特定物質の濃度変化の状況を監視しその状況を公表すること」とされており、年次報告書が出版されているが（e.g. 環境省 2018）、この報告書においては、気象庁が毎年発表している「オゾン層・紫外線の年のまとめ」の内容に大きく依存している。国内のオゾンゾンデ観測地点がつくばのみになることは、この報告書の内容にも多大な影響がある。オゾン層の科学についてはIO3C（国際オゾン委員会）が1948年に設立されているが、オゾン層破壊問題についても活発に活動してきた（e.g. 国際オゾン委員会 1989）。モントリオール議定書等を踏まえ、国内にも科学情報を共有するための会の必要性が認識され、気象学会内にオゾン研究（連絡）会が設立されたという経緯がある（林田 1989）。

3. 気象庁のオゾン観測・解析に関する取り組み（竹内）

気象庁では1950年代からオゾン層観測を、1990年頃から紫外線観測を継続してきている。これは、オゾン層が気象に与える影響やオゾン層破壊の状況を把握することを目的とした業務である。近年では、点の情報から面的な情報を把握し提供することを目指し、各国の人工衛星観測データや気

象庁の化学輸送モデルも積極的に利活用し、全球的なオゾン層の状況の把握、紫外線情報の提供、数値予報等へのオゾンデータ提供をおこなってきている。地上観測データは、こういった各種情報の精度担保のためにも利用している。

第1図に、気象庁のオゾン・紫外線観測の歴史をまとめる。1952年に気象業務法が成立し、1957～1958年の国際地球観測年に国内の多くの地上からのオゾン観測が開始されている。1988年にオゾン層保護法が成立



第1図 気象庁によるオゾン・紫外線観測の歴史。少しでも観測があればその年を着色。2018年2月に、札幌と那覇でのオゾンゾンデ観測と波長別紫外線観測が、南鳥島でのオゾン全量観測とオゾン反転観測が終了。

し、1990年頃から紫外線観測が開始されている。今回、2018年2月に、札幌と那覇でのオゾンゾンデ観測と波長別紫外線観測を、南鳥島でのオゾン全量観測とオゾン反転観測を終了した。（なお、鹿児島でのすべてのオゾン・紫外線観測は2005年4月に終了している。）現在継続している観測は、札幌・つくば・那覇・南極昭和基地でのオゾン全量観測とオゾン反転観測、つくば・昭和基地でのオゾンゾンデ観測と波長別紫外線観測である。過去の気象庁のすべてのオゾン・紫外線観測データは、気象庁のウェブサイトおよびカナダ環境・気候変動省が運営する世界オゾン・紫外線資料センター（WOUDC）から入手可能である。なお、2012～2016年において世界のオゾン全量観測地点は151、オゾン反転観測地点は11、オゾンゾンデ観測地点は52であった。

気象庁が担ってきたオゾン層の長期変化傾向の監視は、今後も継続する。また、WMO/GAWのアジア地区ドブソン分光光度計校正センターも引き続き気象庁が担当する。

4. オゾンゾンデ観測に関する世界的動向（藤原）

本講演では成層圏オゾンの研究の現状を整理した。WMOとUNEPによる4年ごとに出版されるオゾン層評価報告書を念頭に、SPARC（成層圏対流圏過程とその気候影響）のもと、LOTUS（成層圏オゾン長期トレンドと不確かさ）プロジェクトが実施されている（SPARC/IO3C/GAW 2019）。1987年採択のモントリオール議定書はオゾン破壊物質の排出削減という点で一定の成果を挙げているが、2000年代以降オゾン層の回復が実際に観測されているか、さまざまなオゾン観測データセットおよびデータ解析手法を比較することで調べることがその目的である。その結果、上部成層圏では有意な正のトレンドが見えてきていること、下部成層圏ではデータセットと解析手法により結果が異なり（依然としてオゾン濃度が低下しているという結果もある）、不確かさが大きいことが分かった。後者の理由としてBall *et al.* (2018) が指摘しているように、化学過程だけでなく力学過程も複雑に絡んでいることが考えられる。

いっぽう、気象庁のオゾンゾンデ観測およびオゾン反転（ウムケール）観測（札幌、つくば、那覇）による日本上空のオゾンの長期変化傾向の解析によると（気象庁 2018）、日本上空の下部成層圏では2000年以降オゾン濃度は有意な正のトレンドを示している（た

だし、その後、測器変更の影響を補正した再処理データを解析した結果、そのようなトレンドは見られなくなっている。2019年出版予定の「オゾン層・紫外線の年のまとめ（2018年）」を参照のこと）。気象研の出牛真氏より、東西方向にトレンドが非一様である可能性が指摘された（Zhang *et al.* 2018）。

また、近年、国際的なオゾンゾンデコミュニティは活発に活動しており、トレンド解析に資する一様化データセットの作成やデータの不確かさ評価を実施している（e.g. Witte *et al.* 2018）。さらに、2017年には、熱帯のオゾンゾンデ観測網（SHADOZ）の質の評価・確保をおこなうためにJOSIE-SHADOZ 2017室内比較実験も実施された（Thompson *et al.* 2019）。これらすべての活動に、気象庁高層気象台から中野辰美氏が継続的に参加している。

なお、環境研の中島英彰氏からCFC-11の排出が近年増えている件（Montzka *et al.* 2018）について指摘があった。また、 CCl_4 （Lunt *et al.* 2018）や CHCl_3 （Fang *et al.* 2018）といったオゾン破壊物質の排出も増えているようであり、東アジアの国からの排出が疑われている。2019年3月にはオーストリアでMontzka *et al.* (2018) を踏まえたWMOやSPARCによる緊急のシンポジウム（International Symposium On The Unexpected Increase in Emissions of Ozone-Depleting CFC-11）が行われた。オゾン層の継続的監視は依然として重要である。

5. 論点整理（金谷）

オゾン計測は成層圏オゾン層監視を主目的としたものであるが、近年は短寿命気候変動因子（SLCF）としてIPCCでも注目される「対流圏オゾン」の解析にも重要な知見をもたらしている。高価な航空機観測やライダー計測を除けば、オゾンゾンデは自由対流圏を含む対流圏オゾン濃度の高度分布を計測できる唯一の計測手段である。アジア大気汚染と成層圏対流圏交換の両方の影響を受ける日本上空での長期トレンドの解析、化学輸送・化学気候モデルやデータ同化再解析プロダクトの評価（e.g. Young *et al.* 2018）、対流圏下部（0–6 km）や最下部（0–3 km）のオゾン量導出も進む衛星観測アルゴリズムの評価改良（e.g. Cuesta *et al.* 2018）の3点でとくに欠かせない役割を担っている。

気象業務法の関係で、気象庁はオゾン等大気汚染気象予測についても業務の範囲とし数値予報等を発信し

ており、今後は対流圏オゾン監視の視点も観測維持の目的やデータ活用の面で重要である。

今後さらなる削減がつくばや昭和基地での観測等に及ばぬようにするためには、国際的な動向を見極めつつ研究を推進すること、国内コミュニティ（行政・研究）での位置づけや連携度を高めることの2点が重要である。WMO/GAWでは成層圏オゾン・地表オゾンに比べ、自由対流圏オゾンの位置づけが弱いことも踏まえたうえで、SLCFの重要性認知度向上やIGACが主導するTOARなどを契機として活動度を高めるべきである。温室効果ガス（GHG）に関するIG3ISはパリ協定等を受けて勢いづいており、同様のフラッグシップ的な取り組みを、政府間会合GEOなども含め立ち上げていくことも有効かもしれない。その際、衛星観測分野で活発化しつつある「GHGと大気質」を結び付けた総合的な排出削減取組なども目玉とするのも一案かもしれない。エアロゾル計測を含むGAWの観測ではcontributing stationなどを通じた連携も見られており、行政だけに頼るのではなく研究コミュニティも戦略的な観測ネットワークづくりに貢献することも重要である。国内的視点では、環境省成層圏オゾン層保護に関する検討会科学分科会や、内閣府総合科学技術・イノベーション会議が主導する府省連携での地球観測活動に紐づいた文部科学省「地球観測推進部会」などの場で、縮小される項目などについても情報共有し、補完の可能性なども含めた議論がなされるべきである。地球観測連携拠点（温暖化分野）等でSLCFに特化したサブワーキングを立ち上げることの有効性や、省庁と研究者の間の一体感を高め、重要な成果をアピールし、適切な場合には気象庁の方も見える形での成果発表を心がける、といった方策についても提示し、議論を促した。

6. 意見交換

GAWの活動の中でGHGのモニタリング等に押される形で、オゾンに関する位置づけが相対的に弱くなっているとの認識は、気象庁・気象研側としても持っており、今後は対流圏化学への位置づけを高め、計測に関して盛り上げられることはないか、といった議論が展開された。オゾンゾンデが担ってきた高度分布計測のうち、成層圏については反転計測で代替されるが、対流圏については代替手段がないことも、重要性を主張する上で大事なポイントとして認識された。府省連携に関しては、情報共有の強化はもっとも

であり、省庁間でも具体的な対策を議論できる体制づくりと、研究者のバックアップが重要と認識された。関連各学会からのバックアップや学会としての発言も、このような局面では重要との指摘もあった。また学術会議の諸委員会から情報を発信し働きかけるのが良いのではないかと議論もあった。

今回の企画によって関係者が一堂に会する機会が生まれたこと自体、今後の体制強化や研究の活発化の契機となったという意味において、何よりもまず有意義であった。議論や意見交換の内容を踏まえて、今後、関係者の連携を深め、実践的な取り組みを進めてゆきたい。

謝辞

今回のオゾン研究連絡会に参加し、活発な議論を展開していただいた気象学会会員諸氏に感謝いたします。

略語一覧

- GAW : Global Atmosphere Watch 全球大気監視
- GEO : Group of Earth Observations 地球観測に関する政府間会合
- IGAC : International Global Atmospheric Chemistry Project 地球大気化学国際協同研究計画
- IG3IS : Integrated Global Greenhouse Gas Information System 統合全球温室効果ガス情報システム
- IO3C : International Ozone Commission 国際オゾン委員会
- IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change 気候変動に関する政府間パネル
- JOSIE : Jülich Ozone Sonde Intercomparison Experiment ユーリッヒオゾンゾンデ相互比較実験
- LOTUS : Long-term Ozone Trends and Uncertainties in the Stratosphere 成層圏オゾン長期トレンドと不確実性
- NDACC : Network for the Detection of Atmospheric Composition Change 大気組成変化検出のためのネットワーク
- SAG-Ozone : Scientific Advisory Group on Ozone オゾンに関する科学諮問部会
- SHADOZ : Southern Hemisphere Additional OZonesondes 南半球オゾンゾンデ観測網
- SLCF : Short-lived Climate Forcer 短寿命気候強制因子
- SPARC : Stratosphere-troposphere Processes And their Role in Climate 成層圏過程とその気候における役割

TOAR : Tropospheric Ozone Assessment Report 対流圏オゾン評価レポート
 UNEP : United Nations Environment Programme 国連環境計画
 WMO : World Meteorological Organization 世界気象機関
 WOUDC : World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre 世界オゾン・紫外線資料センター

参 考 文 献

- Ball, W. T. *et al.*, 2018: Evidence for a continuous decline in lower stratospheric ozone offsetting ozone layer recovery. *Atmos. Chem. Phys.*, **18**, 1379-1394.
- Cuesta, J. *et al.*, 2018: Transboundary ozone pollution across East Asia: daily evolution and photochemical production analysed by IASI+GOME2 multispectral satellite observations and models. *Atmos. Chem. Phys.*, **18**, 9499-9525.
- Fang, X. *et al.*, 2018: Rapid increase in ozone-depleting chloroform emissions from China. *Nature Geosci.*, **12**, 89-93.
- 林田佐智子, 1989 : オゾン研究会報告. *天気*, **36**, 599-600.
- 環境省, 2018 : 平成29年度オゾン層等の監視結果に関する年次報告書. 220pp.
- 気象庁, 2018 : オゾン層・紫外線の年のまとめ (2017年). 45pp.
- 国際オゾン委員会, 1989 : オゾン層の現状に関する声明. *天気*, **36**, 508-509.
- Lunt, M. F. *et al.*, 2018: Continued emissions of the ozone-depleting substance carbon tetrachloride from Eastern Asia. *Geophys. Res. Lett.*, **45**, 11423-11430.
- Montzka, S. A. *et al.*, 2018: An unexpected and persistent increase in global emissions of ozone-depleting CFC-11. *Nature*, **557**, 413-417.
- SPARC/IO3C/GAW, 2019: SPARC/IO3C/GAW Report on Long-term Ozone Trends and Uncertainties in the Stratosphere (I. Petropavlovskikh, S. Godin-Beekmann, D. Hubert, R. Damadeo, B. Hassler, V. Sofieva ed.). SPARC Report No. 9, GAW Report No. 241, WCRP-17/2018, doi:10.17874/f899e57a20b.
- Thompson, A. M. *et al.*, 2019: Ozonesonde quality assurance: The JOSIE-SHADOZ (2017) experience. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **100**, 155-171.
- Witte, J. C. *et al.*, 2018: First reprocessing of Southern Hemisphere ADDitional OZonesondes profile records: 3. Uncertainty in ozone profile and total column. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **123**, 3243-3268.
- 山口小雪, 林田佐智子, 2018 : 那覇で観測された対流圏オゾンの増大現象について. 日本気象学会2018年度秋季大会講演予稿集, P483.
- Young, P. J. *et al.*, 2018: Tropospheric ozone assessment report: Assessment of global-scale model performance for global and regional ozone distributions, variability, and trends. *Elem. Sci. Anth.*, **6**, doi: 10.1525/elementa.265.
- Zhang, J. *et al.*, 2018: Stratospheric ozone loss over the Eurasian continent induced by the polar vortex shift. *Nature Commun.*, **9**, 206, doi:10.1038/s41467-017-02565-2.