

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01975

研究課題名(和文) 拡散分離の定量評価により得られた大気組成の精密時空間変動に基づく温暖化影響の評価

研究課題名(英文) Evaluation of an impact of global warming based on spatiotemporal variations in the atmospheric constituents corrected for diffusive separation

研究代表者

石戸谷 重之 (Ishidoya, Shigeyuki)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・研究グループ長

研究者番号：70374907

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：大気主成分の濃度と同位体比は温暖化影響評価に有用な情報を持つが、存在量に対し変動量が極めて小さく人為及び自然起源の拡散分離の影響を強く受ける。本研究では、航空機観測における人為起源分離を評価・補正することで自由対流圏の酸素濃度を高精度で観測し、地上の観測結果や大気輸送モデルと組合せた解析から、半球間大気交換や全球CO₂収支を評価した。また、成層圏大気其自然起源分離(重量分離)の観測とモデル計算を行い、地上アルゴン濃度の長期変動への重力分離の影響が無視できないことを明らかにし、観測したアルゴン濃度と重力分離モデルを組合せた解析から、海洋観測と統合的な海洋貯熱量の経年変動が得られることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大気中酸素濃度やアルゴン濃度を、炭素循環や温暖化の指標として用いるためには、存在量の6桁目の変動を計測する超高精度観測が必要になる。また、そのような微小変動の場合には、温度や圧力の勾配に応じて質量数に依存した拡散分離が生じ、その影響は特に航空機観測で顕著である。本研究では、拡散分離を定量的に評価し補正することで航空機による酸素濃度の高精度観測を実現し、南北半球間大気輸送や全球CO₂収支の評価を行なった。また、地上と成層圏のアルゴン濃度の観測とシミュレーションから、超高精度観測には大気重力分離の変動が影響し得ることを初めて報告した。

研究成果の概要(英文)：In order to evaluate an impact of global warming based on the observations of the atmospheric O₂/N₂ and Ar/N₂ ratios and stable isotopic ratios of O₂, N₂ and Ar, it is needed to evaluate an effect of artificial/natural diffusive separation of the components. In the present study, we corrected an artificial diffusive separation on aircraft observations, and we succeeded to observe spatiotemporal variations in O₂/N₂ ratio from the surface to the upper troposphere. The observational results were compared with the simulated O₂/N₂ by using a 3-D transport model. Consequently, we evaluated the interhemispheric mixing of air and global CO₂ budget. We also observed and simulated gravitational separation in the stratosphere, and we found the secular changes in the surface Ar/N₂ ratio, which is expected to be used to estimate global ocean heat content, could be modified by the secular changes in gravitational separation.

研究分野：大気科学

キーワード：大気組成拡散分離 大気中酸素・アルゴン濃度 大気主成分同位体比 温暖化影響評価

1. 研究開始当初の背景

近年、パリ協定等により地球温暖化の緩和策および適応策が国際的課題として位置付けられ、CO₂の削減努力とともに、温暖化の影響評価の精緻化が喫緊の課題となっている。図1に単純化して示すように、地球温暖化による気候システムへの影響は、二酸化炭素(CO₂)等の温室効果気体の大気中濃度増加による放射収支の変動、また ENSO イベント等の自然変動による海水温・気温の変動等が、対流圏や成層圏の大気循環やCO₂等の循環に影響を及ぼし、さらなるフィードバックを生むことになる。したがって、図1の各要素に関し、複数の手法による適切な長期モニタリングを行うことは、温暖化の影響評価の上で重要である。本研究で対象とする大気主成分とCO₂の観測により、図1の各要素について以下のモニタリングが可能になると期待される。

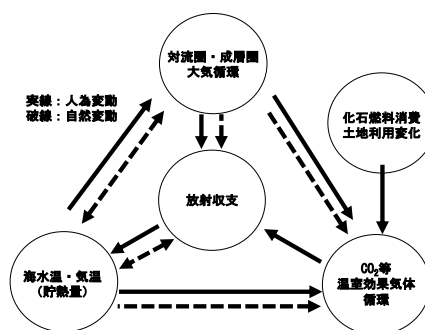


図1：地球温暖化が本研究で扱う気候システムの各要素に及ぼす相互作用の概念図

- ① CO₂等温室効果気体循環：大気中酸素(O₂)濃度($\delta(O_2/N_2)$)とCO₂濃度の長期観測により、全球の海洋および陸上生物圏のCO₂吸収量を推定できる。これは、化石燃料消費と陸上生物活動においてO₂とCO₂が表裏の関係で変動するのに対し、CO₂の弱酸としての海洋への溶け込みにO₂が関与しないという性質を利用したものである。
- ② 海水温・気温(貯熱量)：大気中アルゴン(Ar)濃度($\delta(Ar/N_2)$)の長期観測から、原理的に、温暖化に伴う地球の蓄熱量を表す海洋貯熱量変動を評価できる。これは、Arが希ガスであり、水温変動に伴う溶解度変動のみに由来して大気中濃度が変動することによる。古気候学分野では希ガスによる全海洋水温評価の実績があるが、現在大気での微小な $\delta(Ar/N_2)$ の長期変動の報告例はなく、当グループとScripps海洋研究所が長期観測によるその検出に取り組んでいる。
- ③ 対流圏・成層圏大気循環：大気中 $\delta(O_2/N_2)$ とCO₂濃度から計算される、陸上生物活動に対する保存量である大気ポテンシャル酸素(APO = O₂ + 1.1xCO₂)の自由対流圏における観測から、対流圏における北半球・南半球間の大気混合の変動を評価できる。また、N₂、O₂およびArの同位体比の観測から、大気重力分離を評価し成層圏循環の変動を評価できる。これらの大気循環評価手法は当グループが世界に先駆けて提唱している内容である。

2. 研究の目的

背景で述べた①～③のような全球規模の現象を評価するためには、自由対流圏や成層圏を含めた広域を代表する観測が必要となるため、航空機等を用いた観測実施が不可欠である。しかしながら、本研究で主たる観測対象とする大気の主成分は、その大気中での存在量の大きさから、変動量が存在量の5～6桁目とごく僅かであり、そのような微小変動は実験上の問題による組成変質によって容易にかき消されてしまう。この点で特に問題になるのは、圧力や温度の勾配により生じる質量数に依存した分子拡散による組成の分離である。地上観測では、大気採取口から配管の分岐なく試料を除湿採取するなど、拡散分離を避けるための配慮が可能である。しかしながら本研究で不可欠となる航空機観測の場合には、大気を採取できる機内の空気吹出し口に外気が到達するまでに既に分離が生じているという深刻な問題があり、当グループの航空機観測で得られた $\delta(O_2/N_2)$ には、大気中での自然起源の変動より遥かに大きな組成の分離が見られる。そのため現在まで、巨額の費用を投じ専用機をチャーターし、拡散分離を最小化する配慮を施した(機体に開けた穴から直接に外気を引込む等)研究観測以外には、航空機による大気主成分の高精度観測は困難であり、そのことが、長期の定点観測が必要となる上記①～③の実施を阻んできた。そこで当グループでは、複数の大気主成分濃度・同位体比の超高精度分析に基づく拡散分離の定量評価法を確立し、大気組成の本来の変動を再現することで、上述の温暖化影響評価に資することを目指す。

3. 研究の方法

本研究では、小笠原諸島南鳥島、茨城県つくば市、岩手県大船渡市綾里の地表サイト、飛騨高山の山岳(森林)サイト、厚木～南鳥島間(C-130)と仙台～伊丹間(JAL)の航空機観測、北海道大樹町での成層圏大気球観測で取得する大気主成分とCO₂のデータを使用する。測定装置は、質量分析計を用いた大気主成分の濃度・同位体比とCO₂濃度の連続測定システムと、磁気式酸素計と非分散型赤外分析計を用いた大気中 $\delta(O_2/N_2)$ とCO₂濃度の連続測定システムである。つくば市では質量分析計による連続観測を、南鳥島と綾里では磁気式酸素計による連続観測を実施しており、飛騨高山にも同装置を導入する。C-130輸送機及びJAL旅客機上ではそれぞれ月に1度の大気試料採取による緯度高度分布の観測が行われており、本研究では質量分析計により当該

試料を分析する。大樹町上空における成層圏大気採取は大気球搭載型クライオジェニックサンプラーにより行われ、2020年夏の観測に参加する。大気球観測は大規模な実験であり数年に1度の実施が限界であることから、観測の高頻度化を目指した小型気球による大気主成分とCO₂濃度の観測を可能とする軽量観測システムの開発にも取り組む。得られたデータについて、主成分同位体比が対流圏で一定の値を持つという特徴を利用し、つくば地表での値を基準としてそこからの偏差分を拡散分離による変動として評価する。また拡散分離量は対象分子の質量数に依存するが、その依存性は分子拡散が温度と圧力の勾配のいずれに起因するかによって異なるため、拡散分離の原因を特定し、航空機観測でのAPOへの影響補正および成層圏重力分離の検出を行う。拡散分離を補正した航空機データに基づくAPO季節変動を大気輸送モデルの計算結果と比較する。APO季節変動は主に大気海洋間O₂交換に由来するため、主たる起源が陸域であるCO₂季節変動とは異なる特徴的な緯度分布が得られ、モデルの半球間大気混合の新たな拘束条件になると期待される。拡散分離を補正したO₂とAr濃度のデータから、全球代表の長期トレンドを導出しCO₂循環と海洋貯熱量変動を評価する。

4. 研究成果

図2に、C130とJALの航空機、および高山で採取した大気試料の分析から得られた $\delta(\text{Ar}/\text{N}_2)$ とN₂、O₂およびArの同位体比の関係を示す。これらの成分について、両航空機観測において地上サイトよりも極めて大きな変動が見られており、実験上の問題による分子拡散分離が深刻であることが見て取れる。そのため、得られた各成分の関係をを用いることで、 $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ に対する拡散分離の影響を評価し補正した。図3に、分離補正前(左)と補正後(右)の $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ を示す。図にはCO₂濃度とAPOも併せて示した。補正後の $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ およびAPOは補正前に比してデータのばらつきが大幅に減少し明瞭な季節変動が捉えられており、本研究の拡散分離評価手法が妥当であることを強く示唆している。

図4に、南鳥島、綾里および高山の $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ 連続観測結果(24時間移動平均値)を示す。図には高山でのフラスコ観測結果も併せて示した。新たに開始した高山での連続観測のAPOはフラスコと比較してややバイアスがあるが、いずれのサイトでも季節変動をクリアに捉えることに成功している。これらのデータを航空機観測結果と併せて用いて、半球間大気混合のAPOへの影

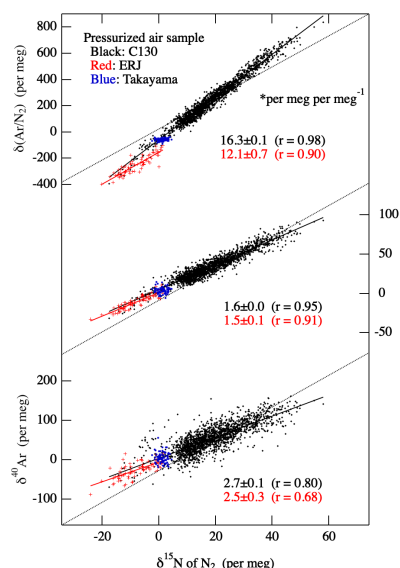


図2: C130とJALの航空機、および高山で採取した大気試料の分析から得られた $\delta(\text{Ar}/\text{N}_2)$ とN₂、O₂およびArの同位体比の関係。per megは100万分率を示す。

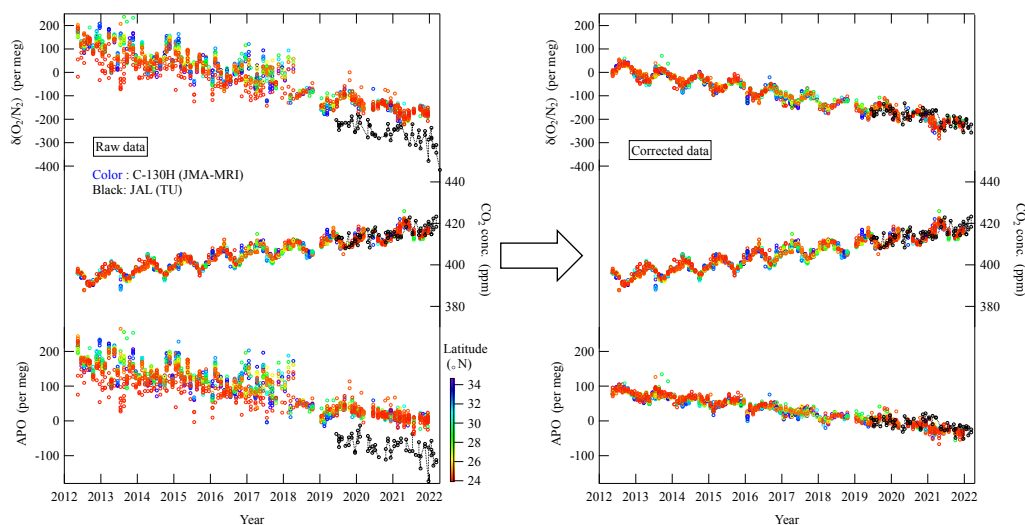


図3: C130とJALの航空機観測による大気試料の $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ 、CO₂濃度およびAPOの分析値(左図)。図2に示した分子拡散分離の影響を補正した結果を併せて示す(右図)。

響を評価した。図5に、C130観測における高度約6kmのAPOとCO₂濃度の季節変動の振幅の緯度分布について、観測結果(拡散分離補正值)と大気輸送モデルによる計算結果を示す。季節振幅は、観測とモデルそれぞれについて33.5°Nでの値に対する比率として示した。図から、APOの

季節振幅が中緯度から低緯度に向かい急激に減衰するのに対し、CO₂濃度の季節振幅の変化は緩やかであること、また、モデル計算において南半球の大気海洋間 O₂ および N₂ フラックスをゼロにした場合には、APO 季節振幅の低緯度に向かう急減が見られなくなることが分かる。このことは、南北逆位相の大気海洋間 O₂ (N₂) フラックスが半球間混合により低緯度上空で相殺し合い APO 季節変動を減衰させていること、すなわち、低緯度上空の APO 季節変動が、温暖化による熱帯域の大気循環の変動に高感度で応答する指標となり得ることを示唆している。同様の解析により、綾里、高山、つくばの地表サイトにおいては、半球間混合の APO 季節変動への影響は十分に小さいことが確認されたが、中緯度地表に比して APO 季節振幅が小さい低緯度の南鳥島では、極大値の出現時期などに無視できない影響が見られることも示唆された。また、拡散分離補正後の航空機 $\delta(O_2/N_2)$ と CO₂ 濃度の長期変動の解析から、2012-2019 年の陸上生物圏および海洋による正味 CO₂ 吸収量をそれぞれ 1.8 ± 0.9 および 2.8 ± 0.6 PgC/yr と評価した。航空機と地表 $\delta(O_2/N_2)$ 観測についての以上の成果の一部を Ishidoya et al. (2022) により報告した。

航空機観測では、実験上の問題による拡散分離を補正することで $\delta(O_2/N_2)$ の高精度観測に成功したが、成層圏においては、実験上の分離が十分に抑制されている場合に、自然起源の大気の拡散分離（重力分離）を観測することができる。図 6 に、2020 年 7 月の大樹町上空において観測に成功した重力分離と、2015 年以前の我々の観測で得られた日本上空の重力分離の平均的な高度分布を示す。図には、2 次元モデル SOCRATES により計算された高度分布も併せて示す。図 6 から、2020 年の成層圏重力分離は過去の観測結果と整合的な高度分布を示し、2 次元モデルは下部成層圏での重力分離をやや過小評価するという傾向も、過去の平均的な高度分布に見られる特徴と整合的であった。

中部成層圏における重力分離の継続的な観測に成功しているのは我々のみであり、過去 20 年についてモデルと

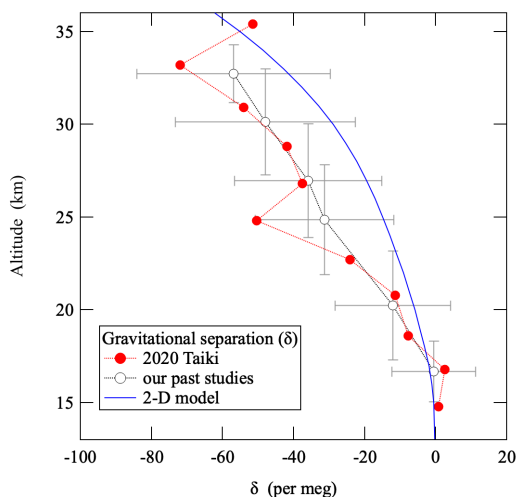


図 6 : 2020 年の大樹町上空で観測に成功した重力分離と、2015 年以前の我々の観測で得られた日本上空の重力分離の平均的な高度分布。重力分離は N₂、O₂ および Ar の同位体比から、質量数差 1 の分子の分離に規格化した δ 値として得られる。図には、2 次元モデル SOCRATES により計算された高度分布も併せて示す。

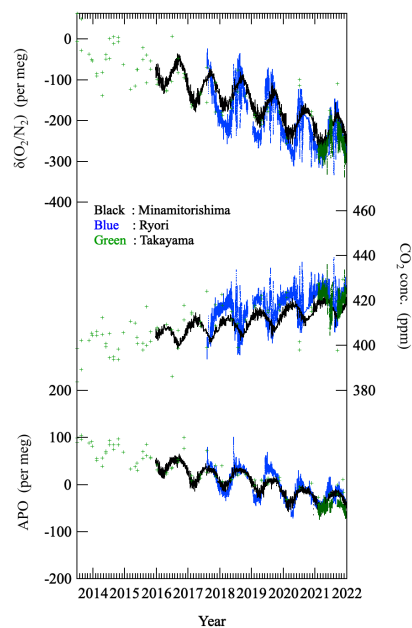


図 4 : 南鳥島、綾里および高山の $\delta(O_2/N_2)$ 連続観測結果 (24 時間移動平均値)。高山でのフラスコ観測結果も併せて示す。

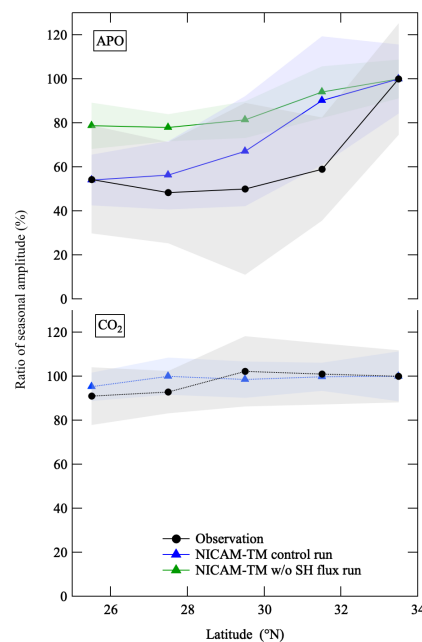


図 5 : C130 観測における高度約 6km の APO および CO₂ 濃度の季節変動振幅の緯度分布。観測結果 (黒: 拡散分離補正值) と大気輸送モデルによる計算結果であり、モデルについては全てのフラックスを考慮した場合 (青) と、南半球の大気海洋間 O₂ および N₂ フラックスをゼロにした場合 (緑) の結果を示す。観測とモデルそれぞれについて 33.5° N での値に対する比率として示した (Ishidoya et al., 2022 より一部改変)。

の比較が可能になっている。一方で我々は地表での $\delta(\text{Ar}/\text{N}_2)$ の高精度観測に成功し、過去 10 年間の経年的な変動の考察が可能であるが、海洋の貯熱量増加により生じると期待される $\delta(\text{Ar}/\text{N}_2)$ の経年変動は、per meg で表した場合に $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ の 1/50 以下の大きさになると予想されている。実際に我々の地表 $\delta(\text{Ar}/\text{N}_2)$ 観測結果には、年々変動が大きいことため正確な評価にはさらなる長期観測が必要であるが、0.5 per meg/yr 程度の経年増加が見られている。ここで我々は、成層圏重力分離と地表 $\delta(\text{Ar}/\text{N}_2)$ の両者の観測経験から、地表 $\delta(\text{Ar}/\text{N}_2)$ の極微小経年変動に、大気全層の重力分離の経年変動が影響するのではないかと着想した。そこで、これまで地表の δ 値をゼロとして固定してきた重力分離のモデル計算を、各分子の大気中分子数の総量の比を基準とする計算に変更することで、成層圏での重力分離の経年的な盛衰に応じた地表の重力分離の変動、すなわち地表 $\delta(\text{Ar}/\text{N}_2)$ の経年変動への影響を評価できるように改良した。

図 7 に、つくば地表の $\delta(\text{Ar}/\text{N}_2)$ の経年変動について、観測結果と、成層圏の Brewer-Dobson 循環 (BDC) の強化、弱化的場合に予想される重力分離の影響を上述のモデル計算結果から評価し、補正した結果を示す。さらに、同補正值を用いて、全海洋 1-box のラフな仮定の下で、 $\delta(\text{Ar}/\text{N}_2)$ 経年変動から海洋貯熱量変動を推定した結果も併せて示した。詳細についての議論は割愛するが、結論として、地表 $\delta(\text{Ar}/\text{N}_2)$ の経年変動への大気重力分離の影響は無視できないこと、また、地表 $\delta(\text{Ar}/\text{N}_2)$ の経年変動から、現在のところまだ誤差は大きいものの Argo 計画による海洋観測と大まかに整合的な海洋貯熱量変動が得られることが示唆され、新たな視点での対流圏成層圏結合研究の道筋を示すことに成功した。成層圏重力分離と地表 $\delta(\text{Ar}/\text{N}_2)$ に関する以上の成果の一部を Ishidoya et al. (2021) により報告した。

成層圏重力分離の重要性に鑑み、観測の高頻度化に向けて、大型気球搭載のクライオジェニックサンプラーによる大量採取ではなく、小型気球に搭載し希薄な成層圏大気を現場気圧で採取するためのシリカコーティングチタン容器を試作し、中部成層圏の低圧に相当する圧力での保存試験を行った。結果、試料採取から 10 日程度までに分析を行うことができれば、中部成層圏の重力分離を十分に観測できる保存性能を有することが確認できた。さらに、小型気球で成層圏 CO_2 濃度を連続的に観測することを目指し (重力分離との同時観測が有効である空気年齢の観測に必要)、中部成層圏の低圧で十分な感度を有する赤外分析計の試作も業者と連携して進めている。

以上から「研究開始当初の背景」に示した 3 項目に関し、確実な進捗が見られるとともに新たな知見が得られており、今後、本科研費での成果を踏まえたさらなる研究展開が可能である。

<引用文献>

Ishidoya, S., Tsuboi, K., Niwa, Y., Matsueda, H., Murayama, S., Ishijima, K., and Saito, K., 2022: Spatiotemporal variations of the $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$, CO_2 and $\delta(\text{APO})$ in the troposphere over the Western North Pacific, *Atmos. Chem. Phys.*, 22, 6953–6970, <https://doi.org/10.5194/acp-2021-787>.

Ishidoya, S., Sugawara, S., Tohjima, Y., Goto, D., Ishijima, K., Niwa, Y., Aoki, N., and Murayama, S., 2021: Secular change in atmospheric Ar/N_2 and its implications for ocean heat uptake and Brewer-Dobson circulation, *Atmos. Chem. Phys.*, 21, 1357–1373, 2021 <https://doi.org/10.5194/acp-21-1357-2021>.

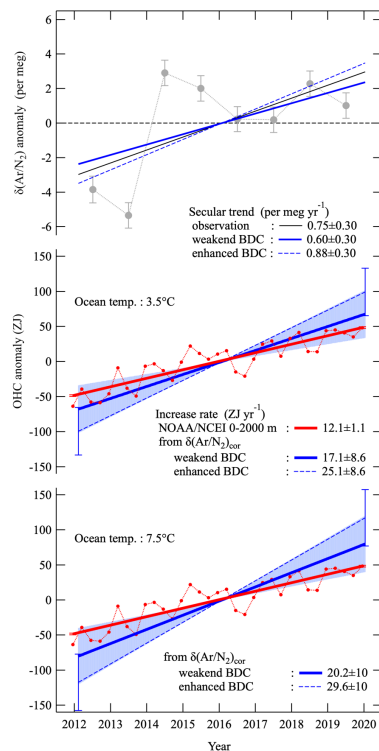


図 7：つくば地表における $\delta(\text{Ar}/\text{N}_2)$ の年平均値の経年変動 (灰、上段：観測期間平均からの偏差)。成層圏循環 (BDC) の強化、弱化的場合に予想される重力分離の影響を補正した $\delta(\text{Ar}/\text{N}_2)$ 経年変動を併せて示す (青、上段)。同じく、両者の場合に、全海洋 1-box の仮定で (平均水温 3.5 もしくは 7.5°C)、 $\delta(\text{Ar}/\text{N}_2)$ 経年変動から、海洋貯熱量変動 (偏差) を推定した結果 (青、中下段) と、海洋観測による同貯熱量変動の報告結果を示す (Ishidoya et al., 2021)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ishidoya Shigeyuki, Sugawara Satoshi, Tohjima Yasunori, Goto Daisuke, Ishijima Kentaro, Niwa Yosuke, Aoki Nobuyuki, Murayama Shohei	4. 巻 21
2. 論文標題 Secular change in atmospheric Ar/N2 and its implications for ocean heat uptake and Brewer-Dobson circulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 1357-1373
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/acp-21-1357-2021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Ishidoya Shigeyuki, Tsuboi Kazuhiro, Niwa Yosuke, Matsueda Hidekazu, Murayama Shohei, Ishijima Kentaro, Saito Kazuyuki	4. 巻 22
2. 論文標題 Spatiotemporal variations of the (O2/N2), CO2 and (APO) in the troposphere over the Western North Pacific	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 6953-6970
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/acp-2021-787	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Sugawara H., Ishidoya S., Terao Y., Takane Y., Kikegawa Y., Nakajima K.	4. 巻 48
2. 論文標題 Anthropogenic CO2 emissions changes in an urban area of Tokyo, Japan, due to the COVID 19 Pandemic: a case study during the state of emergency in April-May 2020	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2021GL092600	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 ISHIJIMA Kentaro, Tsuboi Kazuhiro, MATSUEDA Hidekazu, TANAKA Yasumichi, MAKI Takashi, NAKAMURA Takashi, NIWA Yosuke, HIRAO Shigekazu	4. 巻 100
2. 論文標題 Understanding Temporal Variations of Atmospheric Radon-222 around Japan Using Model Simulations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II	6. 最初と最後の頁 343 ~ 359
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2151/jmsj.2022-017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 S. Ishidoya, K. Ishijima, S. Sugawara, Y. Niwa, Y. Tohjima, D. Goto, K. Tsuboi, S. Murayama, N. Aoki, T. Maki, Y. Tanaka and T. Nakamura
2. 発表標題 Seasonal variations in the atmospheric Ar/N ₂ ratio observed at ground-based stations in Japan and Antarctica and its application to an evaluation of the air-sea heat flux
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石戸谷重之、近藤裕昭、坪井一寛、石島健太郎、松枝秀和、青木伸行、村山昌平、佐藤幸隆、幸田笹佳、雪田一弥、佐藤祥平、池田諒、洞口拓也
2. 発表標題 綾里における酸素および二酸化炭素濃度の連続観測に基づく近傍工場のセメント生産の影響の評価
3. 学会等名 日本気象学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石戸谷重之、遠嶋康徳、石島健太郎、菅原敏、丹羽洋介、後藤大輔、村山昌平、坪井一寛、青木伸行、中村貴
2. 発表標題 大気中アルゴン・窒素比を用いた大気ポテンシャル酸素の変動要因の評価 -季節変動と緯度分布-
3. 学会等名 第25回大気化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Ishidoya, S. Sugawara, S. Morimoto, D. Goto, Y. Tohjima, K. Ishijima, D. Belikov, F. Hasebe, K.o Tsuboi, S. Murayama, N. Aoki, S. Aoki and T. Nakazawa
2. 発表標題 Observations of elemental and isotopic ratios of atmospheric major components and its application to detect atmospheric circulation and ocean heat uptake changes
3. 学会等名 AGU fall meeting 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石島健太郎、坪井一寛、松枝秀和、田中泰宙、眞木貴史、中村貴、丹羽洋介
2. 発表標題 日本周辺における 大気中ラドン濃度の短周期変動
3. 学会等名 第25回大気化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅原敏、青木周司、森本真司、本田秀之、豊田栄、石戸谷重之、後藤大輔、梅澤拓、長谷部文雄、石島健太郎、飯嶋一征、吉田哲也
2. 発表標題 マルチクロックトレーサーによる大気年代推定 (B20-04結果速報)
3. 学会等名 大気球シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村山昌平、近藤裕昭、石戸谷重之、前田高尚、山本晋、三枝信子、村岡裕由
2. 発表標題 飛騨高山冷温帯落葉広葉樹林で観測された炭素収支の年々変動および長期トレンド
3. 学会等名 日本気象学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石戸谷重之、坪井一寛、丹羽洋介、村山昌平、松枝秀和、澤庸介、青木伸行、石島健太郎、古積健太郎、梅澤研太、雪田一弥、西田重晴、山本めぐみ
2. 発表標題 C-130H輸送機により観測された北西太平洋上空における大気ポテンシャル酸素の季節および年々変動
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Ishidoyam S. Sugawara, Y. Tohjima, S. Murayama, D. Goto, K. Tsuboi and H. Matsueda
2. 発表標題 Variations in Ar/N2 observed at Japanese air monitoring networks -its interpretation from viewpoints of changes in the ocean heat content and diffusive separation of the atmosphere-
3. 学会等名 small APO workshop in Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Ishidoya, K.Tsuboi, Y. Niwa, S. Murayama, H. Matsueda, Y. Sawa, N. Aoki, K. Ishijima, K. Kozumi, G. Umezawa, K. Yukita, S. Nishida and M. Yamamoto
2. 発表標題 Seasonal and interannual variations of the APO over the Western North Pacific observed by using a cargo aircraft C-130H
3. 学会等名 small APO workshop in Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Sugawara and S.Ishidoya
2. 発表標題 Possible Ar/N2 variations caused by the molecular diffusive separation in stratosphere
3. 学会等名 small APO workshop in Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石戸谷重之、坪井一寛、丹羽洋介、松枝秀和、村山昌平、青木伸行、近藤裕昭、石島健太郎、古積健太郎、梅澤研太、赤松漣、雪田一弥、西田重晴、佐藤祥平
2. 発表標題 気象庁観測プラットフォームを用いた大気中酸素濃度の長期・広域観測
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村山昌平、石戸谷重之、近藤裕昭、山本晋、宇佐美哲之、中澤高清、青木周司、森本真司、坪井一寛、松枝秀和、石島健太郎、村岡裕由
2. 発表標題 飛騨高山森林観測サイトにおける大気中温室効果気体濃度およびCO2安定同位体比の長期観測
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Murayama, H. Kondo, S. Ishidoya, T. Maeda, S. Yamamoto, N. Saigusa and H. Muraoka
2. 発表標題 Long-term variations in the carbon budget and the atmospheric CO2 concentration detected from 26-year observation in a cool-temperate deciduous forest at Takayama
3. 学会等名 AsiaFlux Workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石戸谷重之、菅原敏、遠嶋康徳、後藤大輔、村山昌平、坪井一寛、丹羽洋介、青木伸行
2. 発表標題 大気中アルゴン濃度の高精度観測に基づく海洋貯熱量および大気拡散分離の評価
3. 学会等名 第24回大気化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Ishijima, K. Tsuboi, H. Matsueda, Y. Tanaka, T. Maki, T. Nakamura, and Y. Niwa
2. 発表標題 Analysis of atmospheric Radon-222 variations observed at JMA stations using model simulations of tagged Radon-222 tracers and Radon-222 age
3. 学会等名 AGU fall meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石戸谷重之、森本真司、坪井一寛、菅原敏、後藤大輔、青木伸行、村山昌平、丹羽洋介、青木周司、松枝秀和、石島健太郎
2. 発表標題 Preparation of O2/N2 dataset from the surface to the middle stratosphere around Japan traceable to NMIJ gravimetric scale
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石戸谷重之、丹羽洋介、坪井一寛、森本真司、遠嶋康徳、後藤大輔、青木周司、村山昌平、青木伸行、石島健太郎、亀崎和輝、松枝秀和
2. 発表標題 大気ポテンシャル酸素の季節変動に対する南北半球間大気輸送の影響
3. 学会等名 第26回大気化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石戸谷重之、菅原敏、青木周司、森本真司、本田秀之、豊田栄、遠嶋康徳、後藤大輔、石島健太郎、長谷部文雄、丹羽洋介、青木伸行、村山昌平、飯島一征、吉田哲也
2. 発表標題 成層圏大気重力分離と空気年齢の新たな応用 ~海洋貯熱量変動評価における重要性~
3. 学会等名 2021年度大気球シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石戸谷重之、菅原広史、寺尾有希夫、高根 雄也、亀卦川幸浩、中島虹、兼保直樹、青木伸行
2. 発表標題 大気観測に基づく代々木街区CO2排出量の起源別推定 ~緊急事態宣言に伴う排出量変動の検出~
3. 学会等名 日本気象学会2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅原敏、青木周司、森本真司、本田秀之、中澤高清、豊田栄、石戸谷重之、後藤大輔、梅澤拓、長谷部文雄、石島健太郎、飯嶋一征、福家英之、吉田哲也
2. 発表標題 クライオサンプリングによる成層圏大気の長期観測と今後の展開
3. 学会等名 2021年度大気球シンポジウム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	坪井 一寛 (Tsuboi Kazuhiro) (10553167)	気象庁気象研究所・気候・環境研究部・主任研究官 (82109)	
研究分担者	村山 昌平 (Murayama Shohei) (30222433)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・総括研究主幹 (82626)	
研究分担者	森本 真司 (Morimoto Shinji) (30270424)	東北大学・理学研究科・教授 (11301)	
研究分担者	菅原 敏 (Sugawara Satoshi) (80282151)	宮城教育大学・教育学部・教授 (11302)	
研究分担者	石島 健太郎 (Ishijima Kentaro) (90399494)	気象庁気象研究所・気候・環境研究部・研究官 (82109)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	丹羽 洋介 (Niwa Yosuke)	国立環境研究所	
研究協力者	後藤 大輔 (Goto Daisuke)	国立極地研究所	
研究協力者	青木 周司 (Aoki Shuji)	東北大学	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 small APO workshop in Japan (酸素濃度高精度観測等に関するワークショップ)	開催年 2019年～2019年
---	--------------------

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------