

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：85406

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03754

研究課題名（和文）大気海洋間におけるCO<sub>2</sub>交換量の直接測定法の確立を目的とした大気圧乱流変動の観測研究課題名（英文）Observation of atmospheric pressure fluctuations for establishing direct measurements of air-sea CO<sub>2</sub> flux

研究代表者

近藤 文義（KONDO, FUMIYOSHI）

海上保安大学校（国際海洋政策研究センター）・国際海洋政策研究センター・准教授

研究者番号：40467725

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、大気乱流による気圧変動を正確に捉えるための計測手法を開発し、海洋と大気間の二酸化炭素交換量の唯一の直接測定法である渦相関法において必須である空気密度変動補正について、これまで考慮されてこなかった気圧変動項の大きさを実測によって明らかにすることを目的として研究を実施した。具体的な研究成果として、二酸化炭素の交換が生じないアスファルト面における気圧変動項を考慮した空気密度変動補正理論の実証、また陸面における二酸化炭素交換量の年間評価における気圧変動補正項の影響、海面における二酸化炭素交換量の気圧変動補正項の影響をそれぞれ明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海洋と大気を結合する海面では、運動量や熱、CO<sub>2</sub>をはじめとする気体など様々な物質が交換されている。その中でも地球温暖化に最も寄与するCO<sub>2</sub>の地球表層における循環を把握するには、地表面の約7割を占める海洋大気間における交換量とその分布を正確に評価することは学術的や社会的に意義がある。本研究では、大気中で増加するCO<sub>2</sub>の海洋の吸収量を正確に評価するため、大気乱流による気圧変動の計測手法を開発、海洋大気間のCO<sub>2</sub>交換量の唯一の直接測定法である渦相関法において必須である空気密度変動補正について、これまで考慮されていない気圧変動項の影響を明らかにし、CO<sub>2</sub>交換量の評価手法を確立させたための研究成果をあげた。

研究成果の概要（英文）：In this study, techniques for accurately measuring atmospheric pressure fluctuations due to atmospheric turbulence were developed, and impacts on air density fluctuation correction for eddy covariance techniques which is the only direct measurement of air-sea CO<sub>2</sub> flux were clarified. As a results, the air density fluctuation correction theory considering the pressure fluctuation term was demonstrated over the asphalt surface, and the effects of the pressure fluctuation correction term for air-land and air-sea CO<sub>2</sub> fluxes by eddy covariance technique were clarified.

研究分野：微気象学

キーワード：大気圧変動 渦相関法 空気密度変動補正 WPL補正 地表面フラックス 海面フラックス 陸面フラックス 大気海洋相互作用

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

海洋と大気を結合する海面では、運動量や熱、CO<sub>2</sub>をはじめとする気体など様々な物質が交換されている。その中でも地球温暖化に最も寄与する CO<sub>2</sub> の地球表層における循環を把握するには、地表面の約 7 割を占める海洋と大気間における CO<sub>2</sub> の交換量とその分布を精確に評価することが重要である。CO<sub>2</sub> の海面交換量は、大気と海洋間の CO<sub>2</sub> の濃度差と交換速度で推定されている。この推定バルク法において交換量の大きさを支配する交換速度は、CO<sub>2</sub> とは異なるトレーサーガス濃度の時間変化から推定するマスバランスによって経験的に得て、その大きさを風速のみの関数式によって表しているに過ぎず、提案式によって全球における CO<sub>2</sub> 吸収量の推定値は 70% も変わることが指摘されている。この差はマスバランス法による交換速度の時間分解能が、交換速度に影響を与える物理現象の生じる時間スケールより低いからであり、より分解能の高い渦相関法による直接測定によって交換速度を評価することが不可欠であると考えられている。

渦相関法は鉛直風速と CO<sub>2</sub> 混合比の大気乱流変動値から海洋と大気間の CO<sub>2</sub> 交換量を算出するが、計測可能な CO<sub>2</sub> 値は混合比ではなく密度である。CO<sub>2</sub> 密度の変動は、海洋と大気間の交換によって生じるだけでなく、気温と水蒸気密度、さらに気圧の変動、これらを起因とする空気の密度変動によってみかけ上引き起こされる。このみかけの変動を取り除くための理論を導いた Webb ら (1980) は、気圧の変動による CO<sub>2</sub> 密度の変動は無視できるものとし、気温と水蒸気密度の変動を補正項とした WPL 補正を提案した。これまで補正理論に誤りがないことは様々な導出条件から明らかにされている。しかし、本研究代表者らは CO<sub>2</sub> 交換が生じないアスファルト面にて WPL 補正を実験検証し、渦相関法による CO<sub>2</sub> 交換量が統計的に有意な放出量を示したことから、気圧変動を無視したことで渦相関法による交換量の測定値が零を示さない可能性を示唆した。このバイアスが海面でも生じているなら、渦相関法によって精確に CO<sub>2</sub> 交換量を評価する上で気圧変動補正の大きさを明らかにする必要がある。

## 2. 研究の目的

これらを背景に、大気中で増加する地球温暖化の主因である CO<sub>2</sub> の海洋の吸収量を精確に評価するため、大気乱流による気圧変動の計測法を開発し、海洋と大気間の CO<sub>2</sub> 交換量の唯一の直接測定法である渦相関法において必須である空気密度変動補正について、これまで考慮されていない気圧変動補正項の影響を明らかにして、CO<sub>2</sub> 交換量の評価手法を確立させることを目的とした研究に取り組んだ。

## 3. 研究の方法

気圧 ( 静圧 ) 変動を計測する際の問題は、風による動圧を含めた全圧を圧力計が計測することである。よって動圧の影響を取り除く 1 ) 野外に適用可能なプローブを作製して、動圧除去の程度を室内風洞実験から明らかにし、真の気圧変動の計測法の開発に取り組む。作製プローブを野外観測に用いて 2 ) CO<sub>2</sub> 交換が生じない地表面において気圧変動項を考慮した空気密度変動補正を検証する。さらに 3 ) 精密な空気密度変動補正を適用した渦相関法によって海洋大気間の CO<sub>2</sub> 交換量の直接測定値を明らかにするための集中・通年観測を行う。

## 4. 研究成果

1 年目は野外で気圧変動を計測するために選定した 3 種類の円盤型プローブに関して、気圧の計測値に影響を及ぼす動圧についての風速や風向の依存性に対する各プローブ固有の影響を明らかにするための風洞実験を実施し、水平と鉛直の各風向に対して風速を変数とする補正式を作成した。これら円盤型プローブを用いて、大気乱流によって気圧が変動する要因を明らかにするための予備観測を熱対流が活発に生じることが予測されるアスファルト面において実施し、対流プリューム理論にて予測されている熱的要因による乱流渦よりも力学的要因による乱流渦によって気圧変動が卓越する可能性を示唆する結果を得た。次に、室内風洞実験で用いられている注射針型プローブを野外観測に応用するため、先端の注射針部の長さ ( 尖り度 ) や静圧孔の大きさと数、全長などを変えることで最適な計測プローブを構築するために数種類の型を設計し、工作に着手する段階にまで進めた。さらに気圧変動を検出する圧力計について、大気乱流により生じる低周波の気圧変動を捉えられない差圧計に代わって、0.01s ~ 1 時間程度の応答性のある水晶振動式圧力計を導入し、全周波数域の気圧変動の検出を試みるための予備試験を実施した。

2年目は野外で気圧変動を計測するために選定した3種類のプローブの内、1年目に構築した注射針型プローブに関して、気圧の計測値に影響を及ぼす動圧についての風速や風向の依存性に対するプローブ固有の影響を明らかにするための風洞実験を実施した。その結果、1年目に実施した円盤型プローブと比べて、水平と鉛直風向ともに $\pm 15$ 度付近までは注射針型プローブの方が動圧の影響を受けないことが分かった。一方で、 $\pm 15$ 度を超えると角度依存性は見られないことも分かった。また先端の注射針部の長さ(尖り度)や静圧孔の大きさと数、全長などの違いによる動圧の影響に有意な差は無かった。また1年目に性能評価した円盤型プローブを用いて二酸化炭素の交換が生じないアスファルト面において、これまでの気温と水蒸気密度補正項に加え、気圧変動も実測して空気密度変動補正を実証するための観測を実施し、観測結果の取りまとめを行った。さらに、洋上における気圧変動観測を実施して精密な空気密度変動補正を適用した渦相関法により、海洋大気間における二酸化炭素交換量の直接測定値を明らかにするため、沿岸域において観測を開始した。

3年目は野外で気圧変動を計測するために選定した3種類のプローブの内、多孔ピトー型プローブに関して、気圧の計測値に影響を及ぼす動圧についての風速や風向の依存性に対するプローブ固有の影響を明らかにするための風洞実験を実施した。その結果、注射針型と比べて動圧の影響を受けることが分かったが、角度依存性は、円盤型プローブと同様に広い範囲でみられ、野外で用いる際には適していることが分かった。また先端のピトー部の大きさなどの違いによる動圧の影響に有意な差はみられなかった。また、2年目と同様に円盤型プローブを用いて二酸化炭素の交換が生じないアスファルト面において、これまでの気温と水蒸気密度補正項に加え、気圧変動も実測して空気密度変動補正を実証するための観測を実施し、観測結果の取りまとめ、2年目の結果との整合性の確認に取り組んだ。さらに、洋上における気圧変動観測を実施して精密な空気密度変動補正を適用した渦相関法により海洋大気間における二酸化炭素交換量の直接測定値を明らかにするため、沿岸域における観測を継続し、観測結果の取りまとめを行った。

4年目は2種類の円盤型プローブを用いて二酸化炭素の交換が生じないアスファルト面において、これまでの気温と水蒸気密度補正項に加え、気圧変動も実測して空気密度変動補正を実証するための観測を実施した。その結果、精密な二酸化炭素交換量を評価するためには気圧変動が空気密度変動補正として考慮すべき補正項であることを明らかにし、これまで2度実施した実証結果と整合的であることも分かった。また3年目から開始した陸上における気圧変動の長期計測を継続して実施し、気圧変動の長期変動要因も含めた、陸面における二酸化炭素交換量の渦相関法における精密評価に取り組んだ。その結果、海面よりも二酸化炭素交換量が大きな陸面においても気圧変動補正項が、年間での二酸化炭素の収支量を評価するためには無視できない大きさであることが分かった。最後に洋上における気圧変動計測を実施して精密な空気密度変動補正を適用した渦相関法により海洋大気間における二酸化炭素交換量の直接測定値を明らかにするため、沿岸域における観測を前年に引き続いて1ヶ月間の集中観測を再度実施し、二酸化炭素交換量が陸面と比べて小さな海面においては、個々に算出される気圧変動補正項が交換量を精密に評価するために重要であることが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 相木秀則, 近藤文義, 根田昌典, 田中 潔, 藤田敏男	4. 巻 35
2. 論文標題 10Hz測定光学粒子計による海上波浪境界層観測	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 エアロゾル研究	6. 最初と最後の頁 160-169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11203/jar.35.160	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Daiki Nomura, Hiroki Ikawa, Fumiyoshi Kondo, keisuke Ono and Brent Else
2. 発表標題 Eddy covariance (EC) drying air comparison for air - sea ice CO2 flux measurement in Tsukuba, Japan
3. 学会等名 Joint BEPSII and ECvice 2020 annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉谷啓, 近藤文義, 内田孝紀
2. 発表標題 大気圧観測プローブの計測精度に対する風速・風向の影響
3. 学会等名 日本設計工学会東海支部令和2年度研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤文義, 小宮秀治郎, 登尾浩助, 相木秀則, 轡田邦夫, 植松光夫, 塚本修
2. 発表標題 微気象学的手法を用いた外洋域における海面フラックスの直接測定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤文義, 杣谷啓
2. 発表標題 微小な海面CO2フラックスを評価するための大気圧乱流変動の観測
3. 学会等名 日本農業気象学会2020年全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 近藤文義, 大西歩樹, 常川康太, 前田論平, 山本晴加, 塚本修
2. 発表標題 大気乱流による気圧変動の直接測定
3. 学会等名 気象学会2018年度春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤文義
2. 発表標題 渦相関法による海面フラックスの直接測定について
3. 学会等名 平成30年度名古屋大学宇宙地球環境研究所共同利用集會「海洋波および大気海洋相互作用に関するワークショップ」
4. 発表年 2019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	杣谷 啓  (SOMAYA KEI)  (70581429)	大同大学・工学部・准教授   (33907)	

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0件

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
---------	---------