

平成 21 年 6 月 3 日現在

研究種目：若手研究（B）	
研究期間：2006 ～ 2008	
課題番号：18710017	
研究課題名（和文）	標高に伴う気圧変化を考慮した湿地からのメタン放出量の再評価
研究課題名（英文）	Reconstruction of greenhouse gases emission from alpine wetland by considering impact of lower atmospheric pressure in high altitude ecosystem
研究代表者	
廣田 充 (HIROTA MITSURU)	
筑波大学・大学院生命環境科学研究科・准教授	
研究者番号：90391151	

研究成果の概要：

標高にともなう大気圧変化が生態系からのメタン等の温暖化ガス放出に及ぼす影響を検証するために、大気圧を調整できる大型チャンバーシステムを開発し、このチャンバーシステムによる室内実験と、実際に野外調査をチベット高原の高山草原で行った。本研究によって、長期間の連続低圧環境が維持可能な実験システムの開発に成功した。一方、実際の野外調査では、高山環境下での低気圧がメタン放出に与える影響は明らかに出来なかったが、CO₂ に関してはほとんど影響がないことを明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,700,000	0	1,700,000
2007 年度	1,200,000	0	1,200,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	150,000	3,550,000

研究分野：生態系生態学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：地球温暖化、チベット高原、炭素動態、地球温暖化、温室効果ガス、生態系純生産、メタンガス、高山湿地

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化が深刻化する中で、二酸化炭素（以下 CO₂ とする）やメタンガスに代表される温暖化ガスの放出量を正確に推定することは非常に重要である。温暖化ガスの生成・分解および放出の過程に関して、様々な環境要因が関与すること、それらの環境要因の変化が温暖化ガス放出量に正あるいは負のフィードバック作用があることなどが明らかにされている。最近の研究によって、大気圧

の時間的な変化が湿地からのメタン放出に及ぼす影響が指摘されており、特に、台風などの低気圧環境が一時的に形成されることによって、湿原からのメタン放出量が増加する現象が欧米および国内の研究によって確認されている。

これらを考慮すると、大気圧は土壌や堆積物中で生成されるメタンや CO₂ などの温暖化ガスの動態に大きな影響を及ぼす可能性がある。特に、大気圧の空間的な変動について

は、標高にともなう大気圧の低下を考慮することが不可欠である。したがって、標高にともなう温暖化ガスの動態の変化パターンを明らかにすることは非常に重要であるが、標高にともなう大気圧の低下が温暖化ガス動態に及ぼす影響はほとんど明らかにされていない。

2. 研究の目的

本申請課題は、標高が高い場所に位置する高山湿地では、大気圧が低いためにメタンが放出しやすいのではないか？という仮説を立て、これを室内実験および野外観測を通して検証するという研究を計画した。具体的には以下の3つを検討し、標高にともなう大気圧低下がメタンおよびCO₂ガスの動態に及ぼす影響を解明することを目的とした。

(1) これまでの報告例をまとめて、高山環境ではメタンやCO₂が放出されやすいのかを検証する。

(2) 気圧の影響を評価するための気圧調整型実験システムの確立

(3) 実際に高山生態系(チベット高原)において、様々な標高でメタンおよびCO₂フラックスを観測して低気圧がそれぞれのガス動態に及ぼす影響を検証する。

3. 研究の方法

(1) これまでの文献値による標高にともなう低気圧環境の影響について

これまで報告されている文献のデータを収集し、標高が高く気圧が低い高山生態系におけるメタンおよびCO₂フラックスにどのような特徴があるのか？を解析を行った。メタンおよびCO₂フラックスは、それぞれの生態系の植生状況、温度環境、水分条件、土壤栄養塩濃度などの影響を強く受けるために、その値をそのまま比較することは不可能である。したがって、本研究では、まず湿地生態系のみを対象とし、湿地生態系による正味のCO₂吸収量(生態系純生産: Net Ecosystem Production, 以下 NEP とする)に対するメタンの放出フラックスを比較することで、標高が高く大気圧が低い高山湿地生態系の特徴を検証した。

(2) 気圧調整型チャンバーシステムの構築について

本研究費を用いて、低気圧環境を調整できる半開放系のチャンバーシステムを開発し

(図1)、その性能を検証した。最終的には同システムを用いて、低気圧環境下での植物の培養実験を行うために、長期間継続的に低圧環境を維持できるようなチャンバーシステムの開発を行った。同チャンバーシステムは、低圧環境の維持とともに、チャンバー内のガス濃度および温度・湿度環境を外部と同じようにするために、コンプレッサー(図1

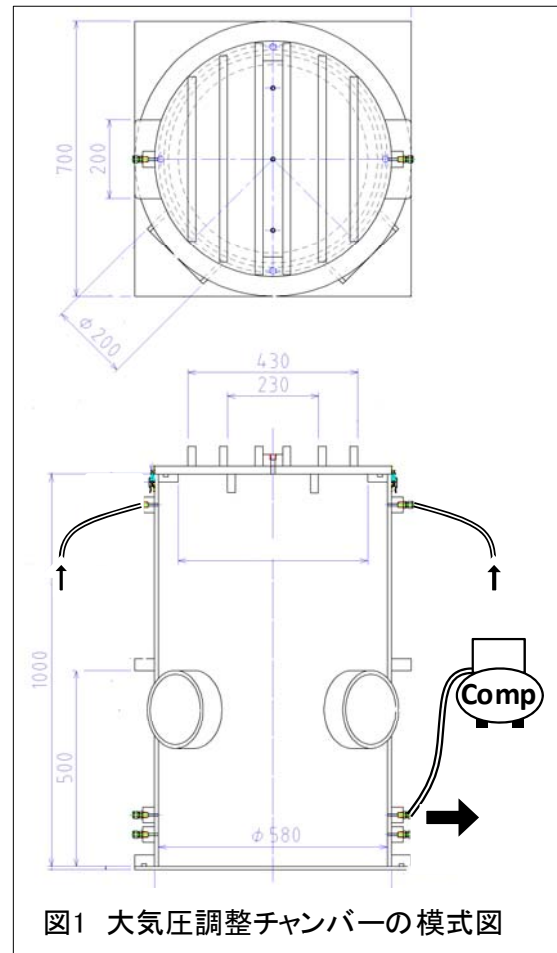


図1 大気圧調整チャンバーの模式図

中の comp) で常にチャンバー内のガスを抜きつつ、外部からの大気ガスを一定量取り込み、その流入ガス流量と流出ガス流量をPID制御によって制御しながら、内部の大気圧を一定に保つ仕組みとなっている。チャンバーの内寸は直径58cm、高さ1mとなっており、大型植物の栽培が可能となっている。同チャンバーシステムを、温度、湿度および光強度を制御できる大型ファイトトロン内に設置することで、大気圧以外の環境要因を制御した。

(3) 実際の高山生態系におけるメタンおよびCO₂フラックス観測について

2007年8月と2008年7月に、青海・チベット高原の北東部に位置する祈連山脈の南側斜面に広がる高山草原(alpine meadow: 標高3200m~4400m)を対象として、標高の異なるalpine meadowにおけるメタンフラックスとCO₂フラックスの観測を行った。フラックス測定は、自作の小型透明チャンバー(直径15cm、高さ20cm)とCO₂プローブ(Vaisala GMP343, Finland)を用いた密閉法にて行った。メタンフラックスについては、一定時間ごとにチャンバー内のガスを採取して、時間経過にともなうメタンガス濃度の変化から、そのフラックスを算出した。

4. 研究成果

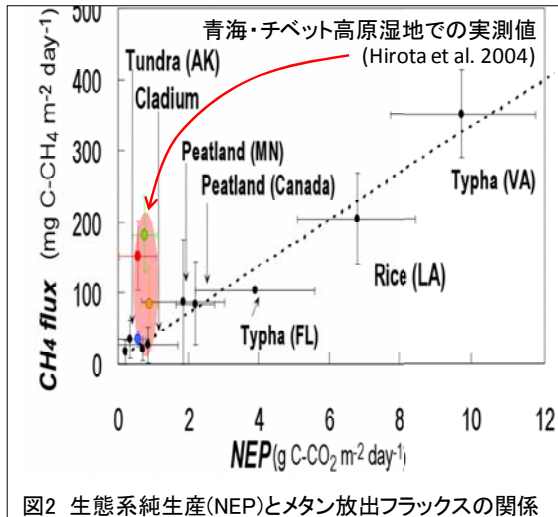


図2 生態系純生産(NEP)とメタン放出フラックスの関係

(1) これまでの文献値による標高にともなう低気圧環境の影響について

様々な湿地生態系におけるメタン放出フラックスと生態系純生産 (NEP) の関係を図2に示す。赤色部分は、研究代表者らが、青海・チベット高原の高山湿地生態系 (標高3200m) にて測定した結果であり、それ以外は他の文献 (主に Whiting & Chanton et al. 1993) から集めたものである。この結果は、高山湿地生態系を除く他の湿地生態系においては、NEP の約3%程度がメタンフラックスとして放出されている傾向があった一方で、高山湿地生態系では、メタン放出フラックスが NEP の約13%にも達することを示している。つまり、標高が高く大気圧が低い高山湿地生態系 (3200m の標高では平地の約65%の大気圧しかない) では、相対的なメタン放出量が多くなる可能性が明らかとなった。この結果は、標高が高い高山生態系では、何らかの影響によって、メタン放出量が大きくなっており、その可能性の一つとして低気圧が作用しているのではないかと考えられた。これについては、今後も標高の異なる様々な湿地生態系において、メタン放出とNEP、および標高を中心とした環境条件を収集し、更なる解析を行い、標高にともなう低気圧の影響について検証していく予定である。

(2) 気圧調整型チャンバーシステムの構築について

今回開発した大気圧調整型チャンバーシステムは、厚さが10mmの透明アクリルを用いて作られており、平地の大気圧 (1013hPa) の約半分である500hPaまで (約標高5000mの大気圧に相当) 低下させることに成功した。図3は、750hPa (約標高3000mの大気圧に相当) に設定した大気圧調節チャンバーを国立環境研究所内の大型ファイトトロンに設置して、その時間変化を示したものである。大型ファイトトロンは、温度、湿度および光の

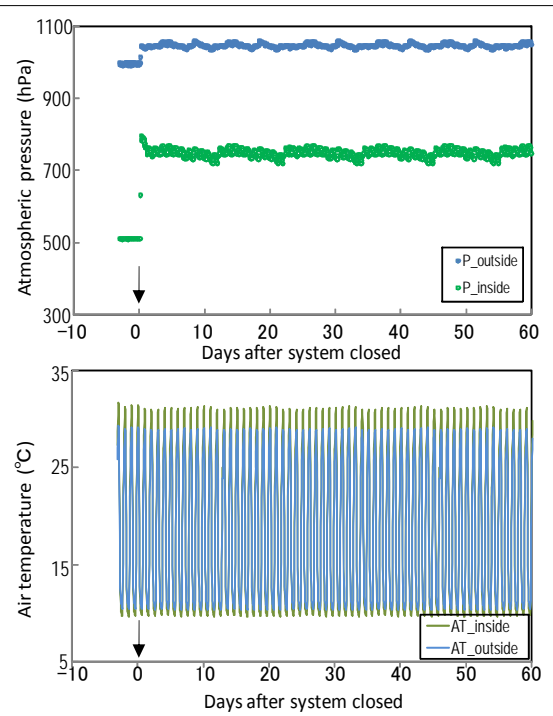


図3 大気圧調整チャンパー内外の大気圧および気温の変化パターン

強さについて、それぞれ日変化プログラムで稼働させた。温度は10~25°C、湿度は40%~80%、光強度 (PPFD) は0~約800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で日変化するように制御した。

チャンバーを密閉状態にしてから、コンプレッサーのスイッチを入れて (図3の黒矢印)、その直後から、チャンバー内の大気圧は750hPa \pm 5hPaで安定しており、そのまま60日間ほぼ同じ低気圧を維持することに成功した。温度の日変化に合わせて上下に振動する傾向が見られたが、大きな問題がないと考えられた。一方気温については、光強度が最高に達する日中は、厚いアクリルチャンバーで覆っているために、チャンバー外よりも3°Cほど上昇する傾向がみられた。一方、夜間は約1°C低下する傾向がみられた。日中の温度上昇については、冷気を送ることで解消できたので、実際の培養時には冷気を送るか、チャンバーの上部に水フィルターのような冷却装置を設置する必要がある。いずれにしても温度条件も外部と同じ温度にすることが必要である。チャンバー内のCO₂濃度については、試験的に高さ30cmほどのイネを二株入れて上記の実験条件で培養した結果、それほど大きな変化をしなかった。よって、チャンバー内に大量に植物を入れて培養しない限り、CO₂濃度の著しい低下、あるいは増加に関する問題はないと思われる。今後は、実際の高山植物の実生を用いて、長期培養実験を行う予定である。

(3) 実際の高山生態系におけるメタンおよびCO₂フラックス観測について

2007年および2008年ともに、メタンフラックス測定に使用した小型のガス採取瓶

(5ml のバイアル瓶) を日本国内に持ち帰ることが出来なかったために、メタン放出フラックスに関しては、現在のところ解析が出来ていない。これについては、中国側から持ち出しの許可が下りた時点で、日本国内に持ち帰り、早急に分析して解析する予定である。

一方 CO₂ フラックスに関しては、チャンバーに設置した小型の CO₂ プロブを用いて、標高にともなう生態系 CO₂ フラックスを観測することが出来た。対象としたのは、植生も含めて明条件のまま測定した生態系純生産 (NEP) と、暗幕を利用して暗条件下にして測定した生態系呼吸 (Ecosystem Respiration, ER) および NEP と ER から計算によって求めた総一次生産 (Gross Primary Production, GPP) の3つのフラックスである。これらのフラッ

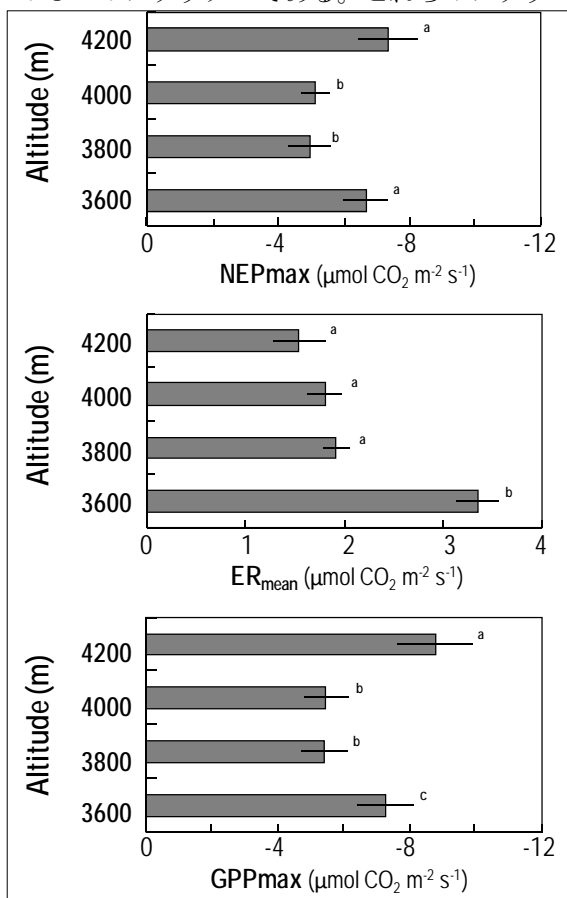


図4 標高にともなう各CO₂フラックスの変化パターン

クスについて、一つの高山斜面を利用して、標高 3600m から 4200m まで、標高 200m 毎に調査地を設置して測定を行った。

図4は、標高にともなう各 CO₂ フラックスの変化パターンを示している。生態系レベルの総光合成量といえる GPP は、標高の上昇ともなって、減少するが、最も標高の高い 4200m で最大値を示した。これは、それぞれの植物量の影響を強く受けており、最も標高が高い 4200m 付近では、植物量が多く、その結果 GPP が高くなっていることが分かった。中間の標高域では GPP が小さいが、これは放牧さ

れている家畜の被食によって、植物量が極めて少なくなっていることが原因と考えられた。一方で、生態系からの CO₂ 放出量である ER は、測定期間中の平均値で見ると温度が高い最も低い標高の 3600m で最大となった。しかしながら、同じ温度として計算すると (例えば気温 20°C の時の ER)、いずれの標高も同じような生態系呼吸量を示すことも明らかになった。GPP と ER の差し引きで表わされる NEP については、GPP と同様の関係があり、標高が高いほど、生態系への炭素蓄積機能が高いことが明らかになった。

仮に標高が高いほど大気圧が低く、CO₂ 放出フラックスが増えるとすれば、生態系呼吸量 (ER) が標高にともなって増加する傾向が見られるはずである。しかしながら、当該調査地では、標高上昇にともなって変化する温度環境に加えて、家畜の影響があるために、生態系呼吸のそのような変化パターンは検出することが出来なかった。また、温度を一定した場合にどの標高でも同じ程度の CO₂ 放出量になることを考慮すると、標高にともなう大気圧低下の影響は、すくなくとも CO₂ 放出に関しては顕著ではない可能性が高い。

今回の現地での観測は、温度や水分といった非生物的環境の影響に加えて、家畜の放牧圧といった生物的環境の影響も含まれている。その中で得た今回の知見は、現状を把握するうえで重要であるが、大気圧の影響を評価するには、さらに現場での操作実験を行う必要があることが今回の研究から明らかになった。まずは家畜の影響がない実験区を設置し、さらに同様の植物組成および植物量の場所を対象とすることで、標高にともなう大気圧の変化が CO₂ フラックスやメタンフラックスに及ぼす影響を検証していくことが重要である。今後は、開発した大気圧調整型チャンバーシステムによる室内実験とチベット高原における現場での操作実験を通して、大気圧の変化が生態系からの温暖化ガス放出に及ぼす影響を解明していく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① Zhang, P., Tang, Y., Hirota, M. 他 2 名 (全 5 名中 3 番目に記載) Use of a regression method to partition sources of ecosystem respiration in an alpine meadow. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 663-670, 2009. 査読有
- ② Ohtsuka, T., Hirota, M. 他 7 名 (全 9 名中 2 番目に記載) Soil organic carbon pools in alpine to nival zones along an altitudinal gradient (4400-5300m) on the Tibetan Plateau. *Polar*

Science, 2, 277-285. 2008. 査読有

③ Hirota, M. 他 7 名 (全 8 名中 1 番目に記載) Net primary productivity and spatial distribution of vegetation in an alpine wetland, Qinghai-Tibetan Plateau. *Limnology*, 8, 161-170, 2007. 査読有

④ Hirota, M. 他 7 名 (全 8 名中 1 番目に記載) Carbon dioxide dynamics and controls in a deep-water wetland on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Ecosystems*, 9, 673-688, 2006. 査読有

⑤ Kato, T., Tang, Y., Gu, S., Hirota, M. 他 3 名 (全 7 名中 4 番目に記載) Temperature plays a major role in controlling ecosystem CO₂ exchange in alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Global Change Biology*, 12, 1285-1298, 2006. 査読有

[学会発表] (計 7 件)

① Hirota, M. Spatial variation of CO₂ fluxes in an alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau. A3 Foresight Program “Upscaling from plot based carbon data to regional scale: Current status and perspectives (2008) Seoul, Korea. Feb. 19, 2008.

② 廣田充 他 6 名 「チベット高山草原の標高傾度に伴う生態系 CO₂ フラックス特性」日本生態学会 (2008) 福岡国際会議場, 2008 年 3 月 16 日

③ 張鵬程・唐艷鴻・廣田充 他 1 名 「青海・チベット高山草原における生態系呼吸の分離」日本生態学会 (2008) 福岡国際会議場, 2008 年 3 月 16 日

④ Hirota, M. 他 7 名 Grazing increase effects of warming by altering CO₂ and CH₄ fluxes in an alpine wetland on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Societas Internationalis Limnologiae (SIL) 30th, International Congress (2007) Montreal, Canada Aug. 15, 2007.*

⑤ 廣田充 他 3 名 「青海・チベット高山草原における CO₂ フラックスの空間変動特性」日本生態学会 (2007) 愛媛大学, 2007 年 3 月 21 日

⑥ 広瀬大・白水貴・廣田充・他 4 名 「チベット高山草原の標高傾度に伴うセルロース分解と微小菌類相の関係」日本生態学会 (2007) 愛媛大学, 2007 年 3 月 21 日

⑦ Hirota, M. 他 4 名. Examining CO₂ partitioning for an alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau. “Can we estimate daytime ecosystem respiration from nighttime respiration?” 2nd EAFES International Congress (2006), Niigata, Japan. Mar. 26, 2006.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

廣田 充 (HIROTA MITSURU)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・准教授

研究者番号 : 90391151

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし