

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2010

課題番号：20241002

研究課題名（和文） 環境変動下における泥炭湿原の炭素動態

研究課題名（英文） Carbon balance of a peat land ecosystem under the changing environment

研究代表者

平野 高司 (HIRANO TAKASHI)

北海道大学・大学院農学研究院・教授

研究者番号：20208838

研究成果の概要（和文）：

サロベツ湿原のミズゴケが優占する区域とササが優占する区域で蒸発散と炭素収支を連続観測し、その結果を比較した。無積雪期の蒸発散は、ミズゴケ区の方が多く、ササの侵入により湿原の乾燥化が促進されるという仮説は支持されなかった。無積雪期の炭素収支は、両区ともにプラスであり、大気に対して CO₂ シンクとして機能していた。夏季が非常に高温となった 2010 年には、ミズゴケ区の CO₂ 吸収量は増加したが、ササ区では低下した。

研究成果の概要（英文）：

We compared evapotranspiration and carbon balance between areas dominated by sphagnum species and vascular plants, "sasa" using flux monitoring data. Evapotranspiration during the snow-free season was higher at the sphagnum area than the sasa area, which does not support a hypothesis that the invasion of sasa plants with root systems dries the Sarobetsu Mire. The carbon balance during the snow-free season shows that both the ecosystems functioned as net CO₂ sinks to the atmosphere. In 2010, which had a very hot summer, net CO₂ uptake increased in the sphagnum area, whereas it decreased in the sasa area mainly because of increased ecosystem respiration due to high temperature.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	18,500,000	5,550,000	24,050,000
2009 年度	9,500,000	2,850,000	12,350,000
2010 年度	9,800,000	2,940,000	12,740,000
年度			
年度			
総計	37,800,000	11,340,000	49,140,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：物質循環

1. 研究開始当初の背景

湿原の多くは泥炭の上に成立している。泥炭は、地下水位が高く保たれた嫌氣的（還元）条件において植物遺体が分解せず、それらが数千年にわたって堆積して形成された有機質土壌であり、世界全体で総陸地面積の約 3% に相当する 4×10^6 km² が存在する。これらの地域の泥炭に土壌有機物として蓄積されている炭素量は 270～370 Gt にも達し、全

土壌炭素量の約 30% を占める。しかし、泥炭中の有機物は嫌氣的条件で固定されているものであり、地下水位が低下して好氣的条件になれば一気に分解が進み、主要な温室効果気体である二酸化炭素 (CO₂) として大気中に放出されることになる。各地で進行している土地利用変化（開発）にともなう地下水位の低下は、泥炭の分解を促進する。また、湿原は第二の温室効果気体であるメタン (CH₄) の

主要な発生源でもある。このように、湿原は温室効果気体のホットスポットであり、環境変動下における湿原生態系の炭素動態を明らかにし、泥炭を保全することが地球環境問題における重要な課題であると認識されている。

湿原における泥炭の成長や炭素蓄積に関する研究は多いが、これらは泥炭のコアサンプルから得られた数千年にわたる時間平均値であり、近年の蓄積速度を表しているわけではない。現代における湿原の炭素動態を把握し、将来の変化を予測するには、湿原の炭素収支を高い時間分解能で評価する必要がある。本研究は、詳細なフィールドデータにもとに湿原生態系の炭素吸収・放出のプロセスを高い時間分解能で明らかにすることを目的としている。このような研究は、微気象学的方法によるフラックス観測としてカナダなどで行われるようになってきたが、まだ事例は少なく知見は乏しい。本研究の目的の一つである「環境攪乱の影響」については、いくつかの研究例があるものの、室内実験によるもの、あるいはフィールド実験だとしても定性的な評価に止まっているものがほとんどである。

2. 研究の目的

フィールド研究を通じて、未攪乱および環境攪乱を受けた湿原（泥炭地）生態系の炭素収支と温室効果ガス放出量を定量化するとともに、地下水流動にともなう炭素フロー（リーチング）等を含む詳細な炭素動態を明らかにし、炭素動態の気象・水文環境の変動に対する応答特性をモデル化する。これらの知見をもとに、湿原生態系の炭素動態に与える環境攪乱（乾燥化、ササの侵入など）の影響を定量的に評価する。また、地理情報システム（GIS）を活用して泥炭の三次元空間解析を行い、サロベツ湿原における炭素蓄積量の空間分布、および全蓄積量を評価する。

3. 研究の方法

本研究は、日本最大の高層湿原である北海道のサロベツ湿原を対象とし、未攪乱の湿原生態系（ミズゴケ群落、ミズゴケ区）と乾燥化が進んでササが侵入した生態系（ササ群落、ササ区）に調査区を設定し、各調査区において、大気との間のガス（CO₂、CH₄）交換速度（フラックス）、地下水流動にともなう炭素（DOC、DIC）フロー（リーチング）、有機物としての炭素蓄積量の変化、を詳細に測定し炭素フローの季節変化および環境応答特性の解析、湿原生態系の炭素収支の定量化、炭素収支に与える環境攪乱（乾燥化および植生変化）の影響評価、などを行う。また、実測データとGISを活用して泥炭の炭素蓄積の空間分布解析を行い、湿原全体の炭素蓄積量の

定量化を行う。

4. 研究成果

(1) 土壌からの温室効果ガスフラックス

チャンバー法を用いて泥炭土壌からの温室効果ガス（CO₂、CH₄）のフラックスの観測を行った。CO₂フラックス（土壌呼吸）の変動要因は場所によって異なり、ミズゴケ区では地温、ササ区では地温と土壌水分の影響が大きかった。CH₄フラックスは、ミズゴケ区でササ区に比べてかなり大きかった。

(2) 蒸発散の比較

両区において微気象学的方法（渦相関法）を用いて潜熱フラックス（蒸発散速度）の連続観測を行った。両区ともに長期の連続データを取得することができた2008年と2010年について、降水量と蒸発散の無積雪期間（4月22日～11月8日、約6.5ヵ月）における累積変化を図1に示す。2008年と2010年の降水量の期間積算値はそれぞれ442、810mmとなり、2010年の降水量は2008年の値の約1.8倍多かった。一方、2008年と2010年の積算蒸発散は、ミズゴケ区で432、465mm、ササ区で372、428mmとなり、両区とも降水量と同様に2010年の方が多かった。ササ区の2008年と2010年の蒸発散は、それぞれミズゴケ区の値の86%と92%であった。蒸発散が降水量に占める割合は、ミズゴケ区では2008年が98%、2010年が57%、ササ区では2008年が84%、2010年が53%となった。同じ期間の有効エネルギーの積算値は、ミズゴケ区で1.73、1.82GJ m⁻²、ササ区で1.65、1.76GJ m⁻²となり、ササ区でミズゴケ区の95～97%であった。この差はアルベドと地表面温度の違いを反映したものである。また、積算値から求めたボーエン比はミズゴケ区で0.59、0.52、ササ区で0.72、0.53となり、ササ区の値の方が大きかった。しかし、

盛夏期（7月～8月）の平均気温が平年よりも3.3℃高く、降水量も多かった2010年には、2008年に比べて両区での蒸発散の差が小さくなった。これは、6月以降の高温でササの成長が促進され、葉面積が拡大し、ササ区で

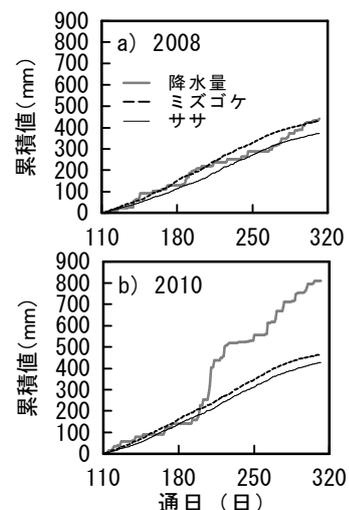


図1 蒸発散と降水量の累積変化

表面コンダクタンスが上昇したことが原因である。なお、4年間の7~8月の1日当たりの蒸発散(平均±年ごとの標準偏差)はミズゴケ区、ササ区でそれぞれ 2.7 ± 0.2 , $2.4 \pm 0.1 \text{ mm d}^{-1}$ となり、5%水準で有意差が認められた。

葉面積指数が最大で $4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ を超えたにもかかわらず、無積雪期間のササ区の蒸発散はミズゴケ区よりも小さかった。ササの葉が十分に繁茂する6月以前の蒸発散が小さかったことが主な原因だと考えられる。なお、Takagiら(1999)は1995年6~10月の観測結果をもとに、ミズゴケ区よりもササ区で蒸発散が大きいと報告している。6~10月の積算降水量(アメダス:豊富)は1995年では537mmであり、2008年(333mm)と2010年(702mm)の値の間である。したがって、1995年の気象条件が特に乾燥あるいは湿潤であったとはいえない。観測方法や観測期間の相違が異なる結果の原因だと思われる。いずれにしても、われわれの結果は、「ササの侵入により蒸発散が増加し、湿原の乾燥化が進む」という仮説を支持しない。

(3) 二酸化炭素 (CO_2) の収支

両区において微気象学的方法(渦相関法)を用いて CO_2 フラックスの連続観測を行った。得られた結果から、大気と生態系間の正味 CO_2 交換量(NEE)を求め、さらに気象データを用いて経験的なモデルにより生態系光合成(GPP)と生態系呼吸(RE)を求めた。図2にGPP, REおよびNEEの2008年の無積雪期間(4月22日~11月7日、約6.5ヶ月)における累積変化を示す。前述したように、GPP, REともにササ区の値が大きいことがわかる。2008年における約6.5ヶ月の積算NEEは、ミズゴケ区で -129 gC m^{-2} 、ササ区で -179 gC m^{-2} となり、両区とも大気に対する CO_2 シンクとして機能していたことがわかった。また、正味の CO_2 吸収量はササ区の方が大きかった。ところが、2010年の同じ期間のミズゴケ区とササ区の積

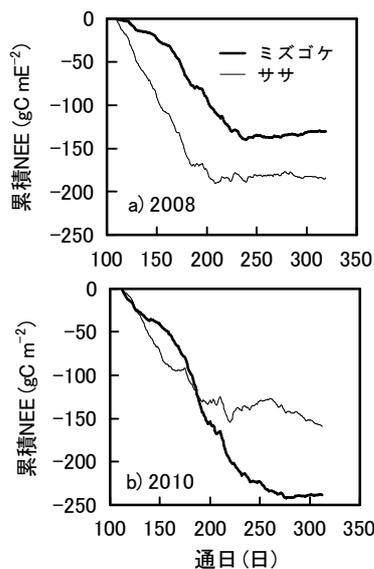


図2 NEEの累積変化

算NEEは、それぞれ -238 , -159 gC m^{-2} となり、ミズゴケ区では CO_2 吸収量が増加したが、ササ区では逆に減少した。2010年の夏季は猛暑で降水量も多かった。このような高温で湿潤な環境がミズゴケの成長を促進し、GPPが増加したと考えられる。ササ区においても、ササの成長が促進されてGPPは増加したが、高温のためにREがGPP以上に増加し、結果として正味の CO_2 吸収量が減少したと考えられる(「地表のエネルギー収支と蒸発散」の項を参照)。この結果は、将来、温暖化が進行した条件でササが優占した区域の CO_2 収支が悪化する可能性を示している。

(4) 溶存炭素の収支

地下水位の観測と現地での透水試験の結果、地表面を基準としたササ区の地下水水位は、未攪乱区に比べて約30cmも低かった。水平方向の透水係数は、ミズゴケ区では $0.1 \sim 1 \text{ md}^{-1}$ の範囲であったが、ササ区はそれよりも一桁程小さい値を示した。いっぽう、両区でほぼ1~2週間間隔の調査で得られた溶存有機炭素(DOC)濃度は、両区とも季節的な変化は小さかったが、1~2mの深度でみるとミズゴケ区では $20 \sim 30 \text{ mg L}^{-1}$ の範囲であったのに対し、ササ区では $50 \sim 80 \text{ mg L}^{-1}$ とミズゴケ区より2~3倍高い値を示すことがわかった。この値は、地下水水位が低く微生物生物による分解が進んでいる高緯度のボグで得られている値と同程度であった。したがって、これらの透水係数の低下や高いDOC濃度は、地下水水位低下による泥炭の分解・収縮のためと考えられた。サロベツ湿原は放水路設置区間を含む河川や道路側溝や排水路に囲まれている。先の間隙水圧の観測では、流向も推定できるように設定している。その結果、ササ区では放水路方向に限らず、道路側溝方面にも流出していることがわかった。

これらの結果を用いて、DOC流出量を推定した結果、ミズゴケ区では $0.004 \sim 0.05 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ の範囲、ササ区では $0.04 \sim 0.1 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ の範囲とササ区の流出量が常に一桁程高い値で推移していることが分かった。これは、ややササ区の地下水流出量が小さいものの、DOC濃度が顕著に高いためであった。このようにサロベツ湿原では、地下水の低下が泥炭の分解や収縮を通じて地下水の流出自体を抑えるように機能するものの、分解によるDOC生成のほうが高いため、結果的にDOC流出量が多くなっていると考えられた。この観測では、DOCと同じく溶存無機炭素(DIC)流出量についても調べているが、これについては、両区での明確な違いは見られなかった。

DOCとDIC流出が炭素収支に占める割合を把握するため、前述の CO_2 フラックス観測期間と合わせて、DOCとDIC流出量の和である溶存炭素流出量の期間積算値を求めた。ミ

ズゴケ区では、2009年では7 gC m⁻² (128日間: 5月8日~9月12日), 2010年では15 gC m⁻² (200日間: 4月22日~11月7日)であった。ササ区ではそれぞれ、9 gC m⁻², 16 gC m⁻²であり、CH₄収支を除いた純生態系生産量 (NEP: Net Ecosystem Production) に対する比率は、ミズゴケ区では2009年で4%, 2010年で7%, ササ区では2009年で6%, 2010年で21%であり、多くても20%を占める程度であった。先の高緯度の泥炭地湿原での報告では、溶存態炭素流出量が約40%を占めると報告されている。サロベツ湿原では、高緯度の地域に比べ年降水量が多いため、地下水流出量も多く炭素流出量の占める割合も高いと予想していたが、この2カ年の結果では顕著に高いという傾向は得られなかった。それは、中緯度の湿原では相対的に蒸発散量が多いため地下水の流出量はそれほど多くならないことと、高緯度の湿原に比べて温暖な気候のために一次生産量自体が高いという2つの理由が考えられる。

これらのことから、人為的攪乱に伴う地下水水位の低下は、高緯度、中緯度に関わらず間隙率や透水係数の低下による地下水流出量の低下、溶存態有機炭素の生成促進をもたらすものと考えられた。また、高緯度地域で懸念されていたNEPに対する溶存態炭素流出量の寄与は、中緯度の地域ではその温暖な気候のために、それほど大きくならないと思われる。ただし、溶存態炭素流出量の寄与は、地域での地下水流出量と溶存態有機炭素の生成速度のバランスによって決まると考えられ、それによってはNEPへの寄与が大きい場合もあると考えられるため、今後も多くの環境下での観測結果の蓄積を要する。

(5) 炭素蓄積量と炭素蓄積速度の評価

現地で採取した泥炭資料を分析し、炭素密度を求めるとともに、炭素年代測定を行い、泥炭における炭素蓄積速度を算出した。また、泥炭深の空間分布をGIS化し、炭素蓄積量の評価した。その結果、炭素蓄積量は2,164 tC ha⁻¹となり、熱帯泥炭地や温帯~北方泥炭地に比べて高い値となった。その理由として、泥炭層が深いことと分解度が低いことが考えられる。また、最深部の形成年代は6,300~6,500年前と判明し、炭素蓄積速度は22.6~87.3 gC m⁻² y⁻¹ (平均47.6 gC m⁻² y⁻¹) となり、世界各地の既往文献の値と比べて総じて高い値となった。以上のことから、サロベツ湿原は、世界でも最も炭素蓄積機能が高い地域のひとつであることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

- ① Takada M, Inoue T, Mishima Y, Fujita H, Hirano T and Fujimura Y, Geographical

assessment of factors for Sasa expansion in the SarobetsuMire, Japan. Journal of Landscape Ecology, in press, 査読有

- ② 岡田 操, 井上 京, 2011, 泥炭の水利特性を反映した地下水流動モデル. 湿地研究, 1, 3-16, 査読有
- ③ Takada M, Mishima T and Natsume S, 2009, Estimation of surface soil properties in peatland using ALOS/PALSAR. Landscape and Ecological Engineering, 5, 45-58, 査読有
- ④ 高田雅之, 井上京, 谷宏, 2008, ALOS/PALSAR を用いた泥炭地湿原の表層土壌特性の推定. 農業農村工学会論文集, 76, 535-541, 査読有

〔学会発表〕(計25件)

- ① Hirano T, Evapotranspiration of peatlands with different vegetation types. Yangling International Agri-Science Forum 2011, 2011年11月5日, 西北農林科技大学 (楊凌・中国)
- ② 平野高司, サロベツ湿原の炭素収支と蒸発散. 日本生態学会第58回大会, 2010年3月11日, 札幌
- ③ 高田雅之, 泥炭地湿原における水文変動による蒸発散量の推定. 水文・水資源学会2009年度研究集会, 2009年8月20日, 金沢
- ④ 高田雅之, サロベツ湿原における土壌水文因子の空間分布解析. 農業農村工学会全国大会, 2008年8月27日, 秋田

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平野 高司 (HIRANO TAKASHI)
北海道大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号: 20208838

(2) 研究分担者

波多野 隆介 (HATANO RYUSUKE)
北海道大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号: 40156344
井上 京 (INOUE TAKASHI)

北海道大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：30203235
富士田 裕子 (FUJITA HIROKO)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学セ
ンター・准教授
研究者番号：50202289
山田 浩之 (YAMADA HIROYUKI)
北海道大学・大学院農学研究院・助教
研究者番号：10374620
高田 雅之 (TAKADA MASAYUKI)
北海道立総合研究機構・環境科学研究セン
ター・主任研究員
研究者番号：40442610