泥炭湿地生態系の気候へのフィードバック

ロシア科学アカデミー　大気物理学研究所
国立環境研究所　炭素吸収源評価研究チーム
ゲオルギー　A．アレキサンドロフ

要　約

成長中の泥炭地は二酸化炭素の隔離とメタンの放出によって気候の調節に寄与している。泥炭地と大気の間のガス交換は気候変動に依存しているので、泥炭地はフィードバックを伴う気候調節機構として考えることができる。このフィードバックは正であるとも負であるとも考えられる。正のフィードバックは気候の擾乱を増幅し、一方、負のフィードバックはそれを抑制する。北方泥炭地からの気候フィードバックは正負のどちらであろうか？これは普通は正とみなされている。しかし、さらに詳しい今回の研究によって、その答えは、成長中の泥炭地における地域差と社会経済的環境に依存することが示される。

はじめに

泥炭地とは泥炭（ピート）の厚さが30cmを越える湿地と定義される（Botsch and Masing,1979）。これらの湿地の水位は湿地の表面から40～50cm下の深さにあると考えられる。全世界のこれらの湿地面積は、176（Olenin,1988）から420（Kivinen and Pakarinen,1978）万平方キロメーターまで様々に見積もられている。泥炭湿地は大量の炭素を泥炭堆積物の形で貯蔵している。ロシアの泥炭湿地の炭素貯蔵量は28.4 Gt Cと見積もられている。この貯蔵は１万年以上も蓄積されてきており、また、平均の年間炭素隔離量は約2.8 Mt C/yrとなる。これと同時に泥炭はメタンを放出する。泥炭の大気圏への分解率は年間 0.0002 程度と緩やかであるが、それにもかかわらず、これはメタンの2.8 Mt C/yr 程度の高い放出を示すことになる。メタンによる二酸化炭素の20倍以上の熱輻射促進力を計算に入れると、泥炭湿地が気候温暖化を作り出すとも結論づけられよう。この短絡的なアセスメントは、泥炭が速やかに増加し、メタン放出が減速するような気候変動には適用することができない。泥炭地からの短期間の気候変動フィードバックに対しては、より精密な考察が必要とされる。

シミュレーションモデル

アレキサンドロフら（1994）はこのシミュレーションのために泥炭湿地成長の空間モデル（Alexandrov,1988）を使用した。このモデルは「有効降雨量」の関数により湿地の水位（BWL：bog water level）を算出し、さらにBWLと泥炭の深さの関数により泥炭の蓄積率を算定する。メタンの放出は嫌気層の深さと比例すると仮定した。有効降雨量―降雨量マイナス気化量―は泥炭湿地の成長にとって本質的な気候要因となる。有効降雨量が少なければ少ないほど泥炭の蓄積率は低くなる。アレキサンドロフら（1994）は有効降雨量の将来の変化予測に、地球規模の温度力学モデル（Petukhov and Manuilova,1984）を用いた。

シミュレーション結果

この気候モデルでは、大気中の二酸化炭素濃度が現在の２倍の状態で北方地域はより湿潤となることが示される。有効降雨量は北緯60度より北では増加し、南では減少する。これに従えば泥炭湿地の気候に対する反応は地域により異なることになる。 気候変動はロシア北西部の泥炭地では泥炭の蓄積を高め、アメリカ合衆国北東部の泥炭地では泥炭の蓄積を減少させ、他方カナダと西部シベリアではそのインパクトは小さなものとなる。このシミュレーション結果は泥炭湿地がフィードバックを伴って気候の調整機構となることを意味する（フローチャート）。このフィードバックは正と負とどちらも考えられる。正のフィードバックは気候変動を増幅するが、それに対して負のフィードバックはこれを抑制する。フィードバックの符号は地域により異なる。それは北緯60度以北では負となり、北緯60度以南では正となる。フィードバックの強さは泥炭湿地のサイズが大きくなると増大し、長期間の平均有効降雨量が多くなると減少する。

総合アセスメント

社会経済的な環境は正のフィードバックの強さを大いに変えうる。有効降雨量の減少は泥炭湿地の社会経済的な価値に影響し、さらなるフィードバックを引き起こす。これは有効降雨量の減少による強い影響を抑制し、同時により一層促進させる。泥炭湿地を水源の構成要素と考える地域では社会的フィードバックは負となるだろう。気候変動の影響は泥炭湿地の価値を保護するよう補償される。しかし、泥炭湿地を森林資源の一部とみなす地域では社会的フィードバックは正となるだろう。気候変動のインパクトは泥炭湿地を森林地帯に変えることにより、一層悪化する。

結　論

地球温暖化に応答する北方の泥炭地へのすべての要素を計算に入れると、適切な管理のもとでは、泥炭地は負のフィードバックを伴う気候の調整機構として働くものと結論できよう。

引用文献

Alexandrov, G.A., 1988. A spatially-distributed model of raised bog relief. Wetland Modelling (Eds. Straskraba M., Mitsch, W.J., Jorgensen, S.E.), Elsevier, pp.41-53.

Alexandrov, G.A., Golitsyn G.S., Mokhov, I.I., Petukhov, V.K., 1994. A feedback between global climate changes and the ecosystems of peatlands. Proceedings of the Russian Academy of Sciences, Geographical Series, No.2, pp.5-15.

Botsch, M. and Masing, V., 1979. Ecosystems of USSR wetlands,Gidrometeoizdat, (In Russian).

Kivinen, E. and Pakarinen, P., 1978. Geographical distribution of peat resources and major peatland complex types in the world. Ann. Acad. Sci. Fennicae, Series A. III. Geologica-Geographica, vol. 132, pp.5-28.

Olenin, A. S. (ed.), 1988. Peat resources of the world. Nedra, (In Russian).

Petukhov, V.K. and Manuilova, N.I., 1984. Estimate of some climate-forming factors in a thermodynamical model of climate. Meteorology and Hydrology, No.10, pp.31-37. (In Russian)

Climate feedbacks from the peatland ecosystems

Georgii A. Alexandrov

The Institute of Atmospheric Physics of Russian Academy of Sciences,
The Carbon Sink Research Team of the National Institute for Environmental Studies, Japan

Abstract

A growing peat land contributes to climate regulation by sequestering carbon dioxide and emitting methane. Since the gas exchange between a peat land and the atmosphere depends on the climate, the peat lands can be considered as climate regulators with feedback. The feedback may be either negative or positive. Positive feedbacks amplify a climate disturbance, whereas negative feedbacks suppress it. What is the sign of the climate feedback from a northern peatland? It is commonly assumed to be positive. However more detailed studies shows that the answer depends on the region and social-economical environment embedding the peatland in hand.

Introduction

Peat lands are defined (Botsch and Masing, 1979) as the wetlands where peat depth exceeds 30 cm. Water table in these wetlands may lie at the depth of 40-50 cm below the bog surface. The estimates of their world area vary from 1.76 (Olenin, 1988) to 4.2 4.2 (Kivinen and Pakarinen, 1978) millions of square kilometers.

Peat bogs store a large amount of carbon in the form of peat deposit. The carbon stock of Russian peat bogs is estimated to be 28.4 Gt C. This stock was accumulated over the period of 10000 years, and so the average rate of carbon sequestration was around 2.8 Mt C/yr.

At the same time peat bogs release methane. The rate of peat decomposition in the anaerobic zone is as slow as 0.0002 yr^{-1}, but nevertheless this suggests that methane emission may be as high as 2.8 Mt C/yr. Taking into account that radiative forcing provided by methane is 20 higher than that by carbon dioxide, one may conclude that peat bogs make climate warmer.

This simplified way of assessment is not applicable to the period of climate change during which the rate of peat accumulation may rapidly increase and the rate of methane emission may slow down. More complicated consideration is needed for understanding short-term climate feedbacks from peat lands.

Models

Alexandrov et al. (1994) used for this purpose a spatial model of peat bog evolution (Alexandrov, 1988). This model calculates bog water level (BWL) as function of so-called 'effective rainfall' and then calculate the rate of peat accumulation as a function of BWL and peat depth. Methane emission was supposed to be proportional to the depth of anaerobic zone.

Effective rainfall – precipitation minus evaporation – is an essential climatic factor of peat bog evolution. The lower effective rainfall, the lower the rate of peat accumulation. Alexandrov et al.(1994) used a thermodynamic model of global climate (Petukhov and Manuilova, 1984) for predicting future changes in effective rainfall.

Simulations results

The climate model suggests that boreal region will be more humid under doubling atmospheric concentration of carbon dioxide. Effective rainfall will increase above 60 NL and decrease below. By this is meant that peat bogs response to climate change will depend on region. Climate change will enhance peat accumulation in the peat bogs of Russian Nort-West and reduce peat stock in the peat bogs of USA North-East, whereas the impact on Canada and Western Siberia would be minor.

The simulation results imply that peat bogs are climate regulators with feedback (Flowchart). The feedback may be either positive or negative. Positive feedbacks amplify the climate change, whereas negative feedbacks compensate it. The sign of feedback depends on the region. It is negative to the North of 60 NL and positive to the South of 60 NL. The intensity of feedback increases with the size of peat bog and decrease with the long-term average of the effective rainfall.

Integrated assessment

Social-economical environment can significantly modify the intensity of positive feedbacks. The decrease in effective rainfall affects socio-economical value of peat bog, and thus provokes further feedbacks. This may either compensate or aggravate the impact of decreasing effecting rainfall. In the region where peat bogs considered as a component of water resources, the social feedback would be negative. The impact of climate change would be compensated to protect the value of peat bogs. However, in the region where peat bogs considered as a part of forest resources, the social feedback would be positive. The climate change impact would be aggravated by converting peat land to the forest land.

Conclusion

Taking into account all the factors affecting the northern peatlands response to global warming one may conclude that under a proper management they might serve as climate regulators with negative feedback.

References

Alexandrov, G.A., 1988. A spatially-distributed model of raised bog relief. Wetland Modelling (Eds. Straskraba M., Mitsch, W.J., Jorgensen, S.E.), Elsevier, pp.41-53.

Alexandrov, G.A., Golitsyn G.S., Mokhov, I.I., Petukhov, V.K., 1994. A feedback between global climate changes and the ecosystems of peatlands. Proceedings of the Russian Academy of Sciences, Geographical Series, No.2, pp.5-15.

Botsch, M. and Masing, V., 1979. Ecosystems of USSR wetlands, Gidrometeoizdat, (In Russian).

Kivinen, E. and Pakarinen, P., 1978. Geographical distribution of peat resources and major peatland complex types in the world. Ann. Acad. Sci. Fennicae, Series A. III. Geologica-Geographica, vol. 132, pp.5-28.

Olenin, A. S. (ed.), 1988. Peat resources of the world. Nedra, (In Russian).

Petukhov, V.K. and Manuilova, N.I., 1984. Estimate of some climate-forming factors in a thermodynamical model of climate. Meteorology and Hydrology, No.10, pp.31-37. (In Russian)

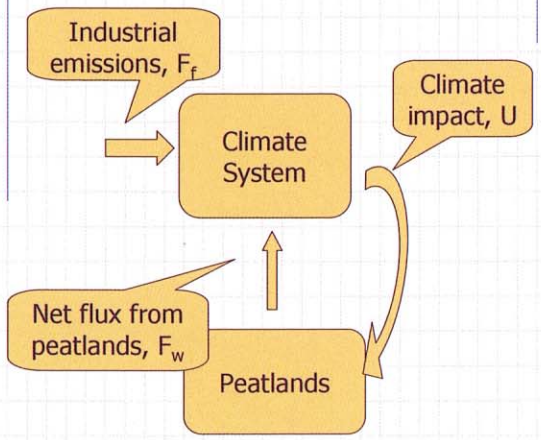
Climate feedbacks from northern peatlands

Georgii A. Alexandrov

Northern peat bogs

- Peat depth more than 30 cm
- Water table may be at the depth of 40-50 cm below the bog surface
- World area: from 1. 76 to 4.2 million of km^2
- Carbon stock (in Russian peat bogs): 28.4 Gt C

Peatlands as climate regulators with feedback



Climate feedback

Net flux of greenhouses gases in CO_2 equivalent:

$$F_w = f_{CO2} + 20 f_{CH4}$$

The radiative forcing provided by CH_4 is higher that that of CO_2

Net flux response to climate impact:

$$\frac{dF_w}{dU} = \frac{df_{CO_2}}{dU} + 20\frac{df_{CH_4}}{dU}$$

The sign of feedback depends on:

- the bog characteristics (original bog water level)
- the region where the bog is located
- the socio-economical system in which the bog is embedded

The effect of bog characteristics

Decrease in effective rainfall

- Decreases the rate of peat accumulation, if bog water level is above the optimum
- Increases the rate of peat accumulation, if bog water level is below the optimum

The effect of the region

Global warming

- Decrease in effective rainfall below 60°NL
- Increase in effective rainfall above 60°NL

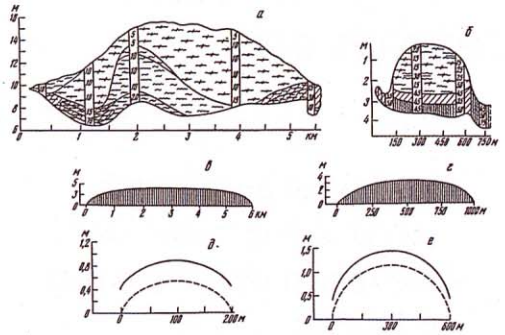
The effect of socio-economical system

Decrease in effective rainfall

- Could be compensated if peatlands would be considered as a component of water resources
- Could be aggravated if peatlands would be considered as a component of forest resources

Conclusion

Taking into account all the factors affecting the northern peatlands response to global warming one may conclude that under a proper management they might serve as climate regulators with negative feedback



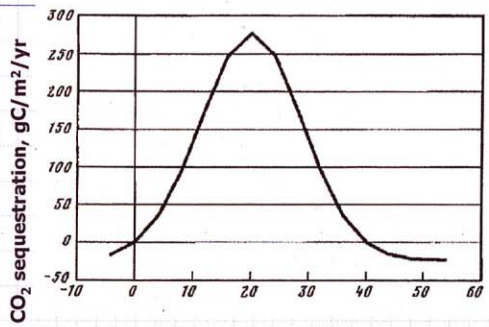
The shape of a peat bog surface:

а) a bog in the Western Siberia,

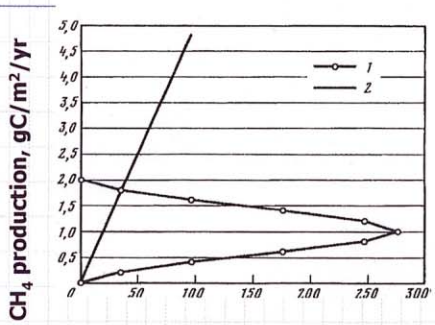
б) a bog in Estonia;

в) and г) generalization of dozens case studies of German peat bogs; д) and е) simulated by means of a model of peat bog evolution:

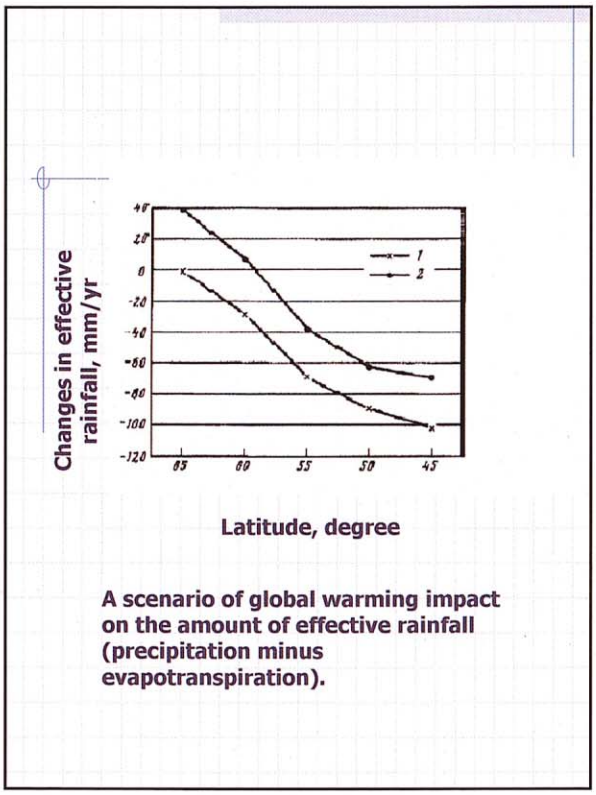
1) peat surface, 2) the surface of water table.



The rate of peat accumulation as a function of the bog water level



The relationship between methane production and CO_2 sequestration in case of peat depth of 40 cm: 1) phase trajectory; 2) the line separated the regions of negative and positive feedbacks



A scenario of global warming impact on the amount of effective rainfall (precipitation minus evapotranspiration).