



**北方林(タイガ)が気候湿潤化の影響で衰退する
- 東シベリア・ヤクーツクでの
14年間にわたる成果を解析して -**

名古屋大学大学院生命農学研究科の太田岳史教授，小谷亜由美助教，(独)海洋研究開発機構の飯島慈裕主任研究員，ロシア・北方圏生物問題研究所の T. C. マキシモフ主任研究員らの国際グループは，ロシア・東シベリア・ヤクーツク近郊の広大に広がる北方林（カラマツ林）での 1998 年からの 14 年にわたる観測によって，2001～2004 年の少雨乾燥の年では，蒸発散量，光合成量は変わらなかったのに対し，2005～2008 年の非常に湿潤化した期間では，森林が枯死・衰退し，土壌水分量に対する蒸発散量や光合成量との関係がそれ以前と較べて減少していることを明らかにしました．また，降水量は 2005 年から増加し始めるのに対して，蒸発散量は 2007 年から，光合成量は 2008 年から減少し始め，森林の水や炭素循環変化が環境条件の変化より複数年遅れて現れることを，初めて発見しました．これらの研究成果は，気候変化による影響として森林の乾燥化による被害が注目されるなか，森林は湿潤化によっても被害を受けることが示され，北方林の成立・維持範囲の解明に迫るものとして注目されます．

この研究成果は，2014 年 5 月 15 日発行の，英国の『Agricultural and Forest Meteorology』誌(電子版)に掲載されます．

北方林(タイガ)が気候湿潤化の影響で衰退する

—東シベリア・ヤクーツクでの14年間にわたる成果を解析して—

【概要】

本研究では、東シベリアに広がる北方林(タイガ:カラマツ林からなる)での、1998年以降14年間にわたる詳細な森林水文・気象観測によって、北方林は2001年から2004年の少雨の状態では蒸散量や光合成量が変化しなかったのに対して、2005年から2008年の気候状態の継続が、蒸発散量や光合成量の減少をもたらす森林の衰退を進行させたことを明らかにしました。従来、世界の森林では、気候の乾燥化が森林の衰退を進行させる要因として広く知られていましたが、湿潤化によっても生態系レベルでの森林衰退が生じることを本研究は初めて明らかにしました。この森林衰退現象が北方林において大規模に広がると、大気との熱や水蒸気、炭素の交換過程を通じて、温暖化の増幅への寄与が考えられるほか、大陸上での気候変化をもたらし、日本を含む北東アジアへ影響を与える可能性も考えられます。すなわち、将来の気候変動との相互作用を考える上で、乾燥化だけではなく、湿潤化に対する森林の応答にも十分な注意を払っていくことが必要だと考えられます。

この成果は、国際学術誌 *Agricultural and Forest Meteorology* に掲載されています。

【ポイント】

東シベリア・北方林での1998年から現在に至る観測によると、降水量は2005年から増加傾向を示したのに対して、蒸発散量は2007年から減少し、光合成量は2008年から減少しています。このように、降水量の増加に対して、蒸発散量と光合成量が2~3年遅れて減少していることとなります。アマゾンの熱帯林の乾燥化によるダメージの研究でも、同じような時間差の伴う森林の応答が起きています。

【背景】

東シベリア・ヤクーツクの近郊のカラマツを中心とする北方林(タイガ)に広がるスパスカヤ・パッド実験林において、1998年から現在に至るまで、気象および土壌環境と森林からの蒸発散量と、大気とのエネルギーや炭素の交換量の関係を調べる調査を行っています。10年を超える長期観測を行うことで、2~3年間の短期観測では分からなかった環境状態量や森林生態系の応答が見えてきます。つまり、降水量は3~4年周期で増減を繰り返しますが、気象状態量はより速いスピードで変化するために数年周

期の変動は見えません.ところが, 土壌中の現象は降水量の変動に追随し, 土壌水分量や地温が降水量の変動に一致します.そして, 土壌水分量の変動, さらに蒸発散量と光合成量に影響が及ぼすことが明らかになりました.これは, 環境条件が湿潤化作用によって長期的に変動して起きた森林の衰退現象であり, 森林においてははじめて発見された現象です.

【研究の内容】

図1は, 1998年以降の気象観測タワー(写真1)周辺の気象・土壌環境の時間変化を表しています.降水量(図1, f)を見ると1998年から2000年および2009年から2011年は平年並み(平均降水量248.4mm), 2001年から2004年は渇水年(184.9mm), 2005年から2008年は豊水年(307.6mm)となっています.しかし, 図1, a)~c)に示す純放射量, 気温, 湿度などの森林群落上の気象要素には, 図1, f)のような目立った変動は見られません.ところが, 図1, d)に示す土壌水分量と図1, e)に示す地温には明らかな変動が見られ, 特に土壌水分量の変動から, 1998年から2000年および2010年から2011年は平年並み, 2000年から2004年は乾燥化, 2005年から2009年には湿潤化していることが分かります.

図2は, 夏季(6-8月の平均値)土壌水分量とカラマツ林の群落コンダクタンスの関係を示したものです.図中の数字は, 測定年を示しています.これによれば, 1998年から2006年と比べて, 2007年から2011年は土壌水分量がそれ以前と同程度でも群落コンダクタンスは低い値になっています.さらに, 土壌水分量と蒸発散係数(実際の蒸発散量を気象条件から求めたポテンシャル蒸発量で除したもの:気候条件の違いを除去し, 森林自体の蒸発散状態を示す)においても同様の関係が得られています.

また図3は, 同時期の土壌水分量とカラマツ林の総一次生産量の関係を示したものです.2004年から2007年では, 土壌水分量と総一次生産量の関係が1本の直線で表されますが, 2008年から2011年には土壌水分量が同じでも総一次生産量は減少しており, 以前の応答関係が崩れています.

すなわち, 複数年にわたる気候状態の変化によって, 森林の衰退が生態系レベルでの変化をもたらし(写真2), 蒸発散量や光合成量が乾燥も含めた従来の関係からシフトするという変化をもたらしました.また, 2005年から2008年の気候湿潤時期以降, 蒸発散量の現象は約2年の遅れをもって現れ, 光合成量はさらに約1年の遅れをもって経時変化を示していることが分かりました.これは, 森林が気候変動に対してゆっくりと応答し, 複数年かけて現象が現れることを示唆します.

【成果の意義】

本研究で見いだされた東シベリアの降水量の増加と土壌湿潤化とそれによる森林衰

退は、ヤクーツク1点のみの森林で見られる現象ではなく、レナ河全体に広がっていることが、GRACE(重力測定衛星)やALOS(陸域観測技術衛星)などの人工衛星データを使った解析からも示されています。この地域での森林衰退現象が大規模に広がると、大気との熱や水蒸気、炭素の交換過程を通じて、大陸上での気候変動をもたらす、さらには日本を含む北東アジアへ影響を与える可能性もあります。また、湿潤化による永久凍土融解は、森林の衰退による炭素収支変化をもたらすと同時に、湿潤域の増加にもつながります。これらのプロセスは、連鎖的に永久凍土地域からの二酸化炭素やメタン等の温室効果ガスの放出にも影響を与えるため、高緯度地域の温暖化増幅効果として今後新たに注視しなければならない現象といえます。

今後は、乾燥化による森林衰退のみならず、湿潤化による森林衰退も対象として、これらのプロセスと影響評価に関する予測研究に貢献して行きたいと思います。

なお、本研究は、(独)海洋研究開発機構(JAMSTEC)およびロシア・北方圏生物問題研究所との共同研究です。また、本研究は、GAME-Siberia プロジェクト(PIs: 安成哲三, 福嶋義弘, 大畑哲夫), CREST/WECNoF(PI: 太田岳史)および RIHN/プロジェクト No. C-07(PI: 檜山哲哉), 名古屋大学 GCOE(PIs: 安成哲三, 林 良嗣)の助成を受けています。

【用語説明】

群落コンダクタンス: 森林群落を1枚の葉と仮定したときに、仮想的気孔が放射量, 気温, 大気飽差, 土壌水分量などの影響を受けて開閉する程度を表す。森林群落の蒸発散のしやすさを表す指標。

ポテンシャル蒸発量: 移流のない広大で均一な湿潤面で生じる蒸発散量。十分な水の供給がされている地表面での蒸発量。

総一次生産量: 植物が光合成により生産する有機物量。本研究では、森林生態系が大気から取り込む総炭素量。

【論文名】

出典 Agricultural and Forest Meteorology, (2014)

タイトル: Effects of waterlogging on water and carbon dioxide fluxes and environmental variables in a Siberian larch forest, 1998 – 2011.

著者名: 太田岳史^{1,5}, 小谷亜由美^{1,5}, 飯島慈裕², Trofim C. Maximov^{3,5}, 伊藤章吾⁴, 花村美保¹, Alexander V. Kononov^{3,5}, Ayal P. Maximov^{3,5}

所属: 1: 名古屋大学大学院生命農学研究科

2: 独立行政法人海洋研究開発機構 地球環境変動領域

- 3: ロシア科学アカデミー・シベリア支部・北方圏生物問題研究所
- 4: 丸信製粉(株)
- 5: 大学共同利用機関法人人間文化研究機構 総合地球環境学研究所

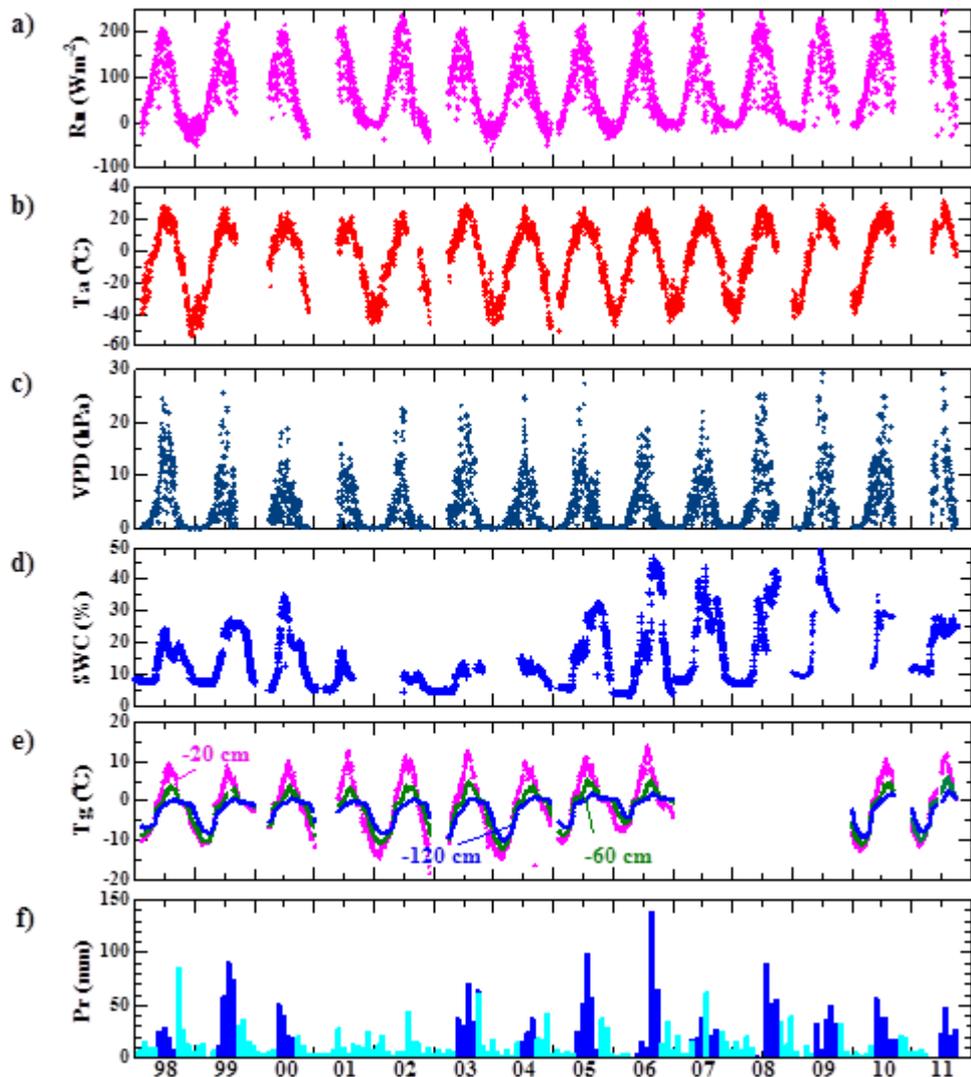


図1 スパスカヤ・パッドの気象, 土壌の状態

- a) 森林上の純放射量(日平均値), b) 気温(日平均値), c) 大気飽差(空気の乾燥度合い: 日平均値), d) 0~-50cm 層の土壌水分量(日平均値), e) 地温(日平均値), f) 降水量(月平均値), 青はスパスカヤ・パッドの値. 水色はヤクーツクの値.

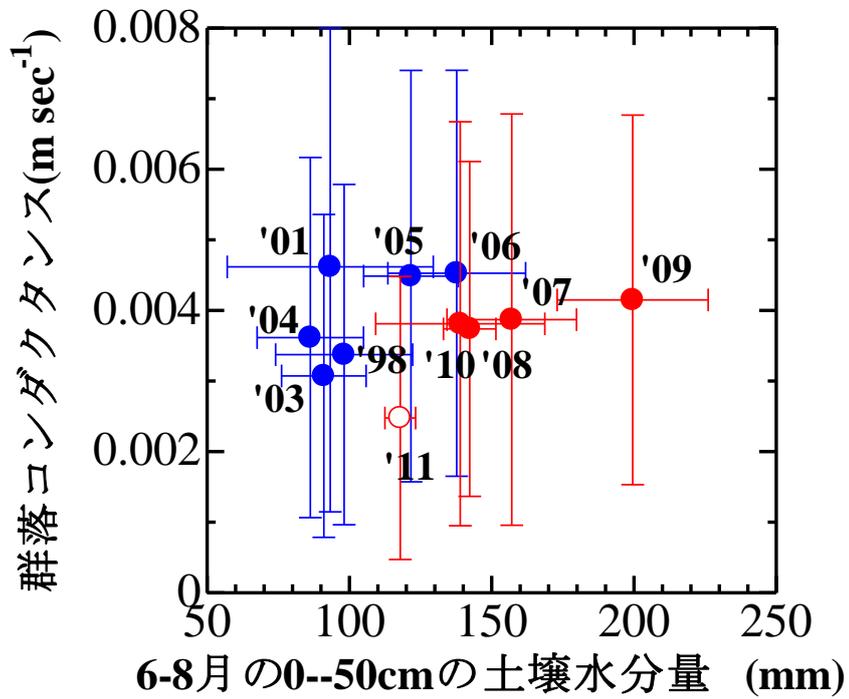


図2 土壌水分量(x 軸)と表面コンダクタンス(y 軸)の関係
 青色は1998年～2006年の関係. 赤色は2007年～2011年の関係. 2011年は6月が欠測のため, 中抜きにしてある.

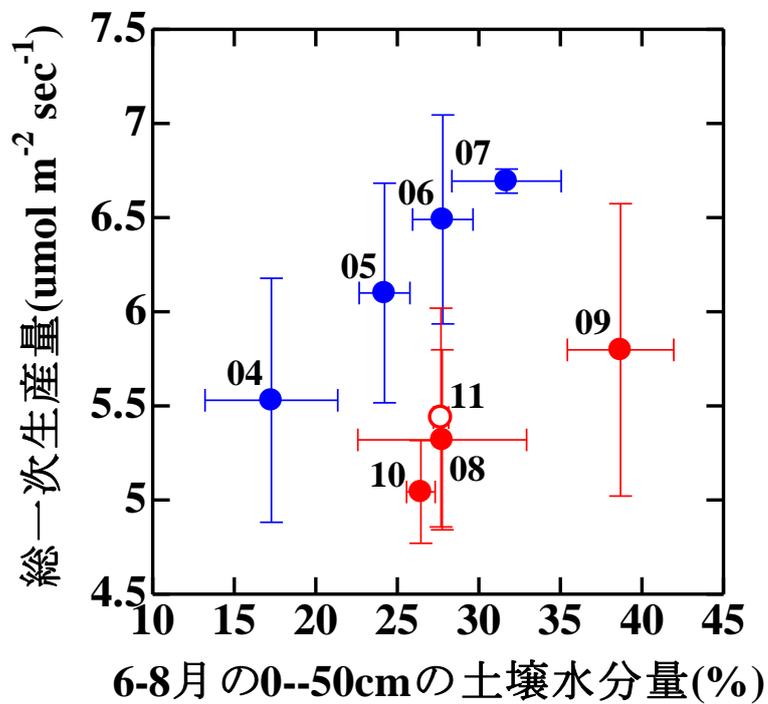


図3 土壌水分量(x 軸)と総一次生産量(y 軸)の関係

青色は2004年～2007年の関係. 赤色は2008年～2011年の関係. 2011年は6月が欠測のため, 中抜きにしてある.



a) タワーの全景



b) タワー頂上部

(放射計, 風速計, 超音波風速計, 赤外線比湿計などが見える.)

写真1 ヤクーツク, スパスカヤ・パッドの気象観測タワー(高さ 32m)



a) in August, 2003



b) in July, 2007



c) in August, 1997



d) in June, 2009

写真2 タワー周辺の森林景観の変化

- a) 2003年8月. 森林衰退前の状態であり, 上層植生は一面の緑である.
- b) 2007年7月. 森林衰退直後であり, 画面中央部の上層植生に葉が黄変している部分が見える.
- c) 1997年8月. 森林衰退前の状態であり, 下層植生はコケモモが主力である.
- d) 2009年6月. 森林衰退後の状態であり, 下層植生は低木と耐湿性に優れた草本が多数侵入してきている.