

B-053 ロシア北方林における炭素蓄積量と炭素固定速度推定に関する研究

(2) 非凍土地帯の森林生態系における炭素蓄積量と炭素固定速度

- 1) 極東の森林生態系
- 2) 中央シベリアの森林生態系
- 3) ヨーロッパ・ロシアの森林生態系

独立行政法人森林総合研究所 立地環境研究領域	松浦陽次郎
九州支所	梶本卓也
北海道大学大学院農学研究院	小池孝良

〈研究協力者〉

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター	笹賀一郎・吉田俊也
北海道大学大学院農学研究院	小林真
ロシア極東農業大学国際関係部	Yuri P. NEMILOSTIV
ロシア極東農業大学土壌学研究室	Valentina F. PROKOPCHUK
ロシア科学アカデミー・スカチェフ森林研究所	Olga A. ZYRYANOVA
ウラル森林工科大学	Vladimir A. USOLTSEV

平成17～19年度合計予算額	27,014千円
(うち、平成19年度予算額	7,700千円)
※上記の予算額には、間接経費 6,236千円を含む	

[要旨] ロシア北方林のうち、非凍土地帯の森林生態系における炭素蓄積量と炭素固定速度を明らかにするために、極東、中央シベリア、ヨーロッパ・ロシアの3地域に分けて、現地調査と既存のデータ収集・検討を行った。極東アムール州では、森林火災直後の3年生林分ではシラカンバが優占し、35年生林分ではシラカンバが優占する林分が多いが、なかにはグイマツ優占林もみられ、ヨーロッパアカマツも高頻度で混交していた。地上部の炭素現存量は、火災から約50年を経ると平均50 Mg C ha⁻¹に達していた。約150年生林分までの最大値は地上部現存量に125 Mg C ha⁻¹に達していた。森林現存量のデータベースのうち、常緑針葉樹タイガの代表樹種であるヨーロッパアカマツとトウヒの現存量データを検討した。その結果、ヨーロッパアカマツでは林齢が100年を経過する頃には地上部現存量増加は頭打ちになり、地下部も50年あたりから増加していないことが解った。地上部/地下部比率はトウヒでやや低かった。針葉樹林タイガに混生あるいは純林を形成する落葉広葉樹であるカンバ類とヤマナラシについて、地上部と地下部現存量データを整備した。落葉広葉樹の地上部/地下部比 (T/R比) は常緑針葉樹とは明らかに異なり、炭素蓄積量推定には樹種特性を考慮すべきことを示した。土壌有機炭素蓄積量推定値については、既存の研究成果には石礫含量補正などに不明瞭さがあり、深さ1mまでの蓄積量には検討の余地があること、また森林土壌の有機炭素蓄積量については、亜高山帯や低湿地、黒色土様の土壌を除けば、おおむね50～150 Mg C ha⁻¹の範囲に入ることを示した。ロシア全体の森林の堆積腐植層に蓄積した炭素量のうち約7割が非凍土地帯に分布し、同様に森林土壌に蓄積した土壌有機炭素の約7割が非凍土

地帯に分布していた。

[キーワード] 非凍土地帯、現存量、火災後の更新、地上部／地下部比、土壤有機炭素

1. はじめに

ヨーロッパ・ロシアから北東ユーラシアの極東地域におよぶロシアの森林地帯は森林のタイプも多様であり、非凍土地帯の南部では森林は生産力が大きいことから木材生産の場としての重要性も増している。森林伐採と森林における炭素の蓄積・固定のバランスという観点からも注目される地域である。主要な林業地域や典型的な気候条件下の森林タイプについては、旧ソ連時代に数多くの研究が行われたが、そのほとんどの成果はロシア語による印刷物のため、西側諸国にとってそれらはまず入手不可能であり利用範囲が限られていた。さらに、現地調査の手法やデータとりまとめのプロセスについて、通常の学術論文に記載される情報が欠落することもしばしばあり、さらに調査地点の緯度経度は原則的に非公開であること等、地図上で比較検討する上での困難さは依然として大きいままである。

ロシアの北方林は、その広大な面積から巨大な炭素の貯留庫、シンクとして機能すること期待されている。しかし、東シベリアでは近年の森林火災の頻発によって炭素蓄積に影響が懸念され¹⁾、さらに極東地域とバイカル湖周辺でも、春先の気象条件が寡雨高温傾向になると大面積の森林焼失が発生し、頻発する森林火災によって森林資源は減少傾向にあると考えられている。森林火災の形態は、強度の樹冠火から軽度の地表火まで様々な形態があり、それぞれによって森林生態系に与える影響は異なる²⁾。本サブ課題では、極東地域の森林火災の中でも軽度の地表火の頻発による影響について調査するとともに、非凍土地帯の森林生態系の地域特性と樹種特性を考慮した現存量データの整備、土壤有機炭素蓄積量の推定値の検討を行った。

2. 研究目的

本サブテーマの目的は、ロシア北方林のうち、非凍土地域の森林生態系における炭素蓄積量と炭素固定速度推定を行うことである。本サブテーマでは非凍土地域を、極東ロシア、中央シベリア（西シベリアの湿地を含む）、ヨーロッパ・ロシアに、大きく3つに分けて研究を進める。

第一の目的は、極東ロシア・アムール州の針広混交林の現存量推定と森林再生過程に伴う炭素蓄積過程の解析である。近年の極東地域における森林火災による植生変化が炭素蓄積量とどのような関係を示すのか、森林火事後に更新する森林の再生過程の解析から、森林の炭素蓄積過程を推定し、衛星データによる広域推定のために地上データを精査収集する。

第二の目的は、中央シベリアとヨーロッパ・ロシア地域を対象に、既存の森林資源量調査データを用いて、森林生態系の炭素蓄積量や固定速度をより高精度に推定するためのデータセットの構築を目的としている。とくに、従来広域での炭素蓄積量推定から除外されていた地下部も含めて推定し、地域間の特性、樹種の特性を明らかにすることを目的としている。

第三は、既存の土壤調査データを検討し、森林タイプと土壤炭素蓄積の関係を明らかにすることを目的としている。旧ソ連時代の研究成果と最近の成果の比較を含めた、土壤有機炭素の蓄積量に関する知見を再検討する。

3. 研究方法

(1) 極東地域の森林生態系

調査地は極東ロシア・アムール州のセメノプカ (CEMENOBKA) 村周辺に設置したサイトである。地表火の頻発の有無がシラカンバ林の現存量・植生に与える影響を調べるために、林齢が約35年生で軽度の地表火を頻繁に受けた林分と無被害林分を調査地とし、現存量・植生の調査を行った。また、シラカンバ林とカラマツ林で長期的な現存量蓄積への影響を調べるために、シラカンバ林およびカラマツ林について、若齢林から老齢林まで様々な林齢の林分を選び調査地とし、それぞれの現存量の回復速度を推定し、比較した。

各林分には20m×20mのプロットを3つずつ設置し、設置したプロット内のDBHが2cm以上の個体(3年生の林分では主な構成種のDBHが2cm以下であったためそれらも含めた)について毎木調査を行い、樹種および器官ごとに作成した相対成長式 ($y=aX^b$) を用いて、単位面積あたりの地上部の現存量を推定した。なお、シラカンバ以外の樹種については、過去の研究において作成された相対成長式を用いて推定をおこなった。土壌試料の日本への持ち帰りができなくなったため、土壌中に蓄積された炭素量は、共同研究者であるロシア極東農業大学土壌学研究室にて分析・定量された数値に依った。

(2) 中央シベリア、ヨーロッパ・ロシア地域の森林現存量データ

本研究の目的は、これら中央シベリアとヨーロッパ・ロシア地域の非凍土地帯に分布する主要な森林生態系について、既存の森林バイオマスのデータを使って、その潜在的な炭素蓄積量や増加速度について森林型ごとの特徴を明らかにすることである。とくに、従来ロシアの広域的な炭素蓄積量の推定研究では、除外されるかあるいは地上部に一定の比率を掛けて推定されていた森林の地下部バイオマス (根) も含めて解析することに重点をおいている。そこで、解析にはおもにUsoltsev (2001) ³⁾ のデータセットを用いたが、その他にもロシア人研究者による関連文献も収集し、それらの中から上述の主要な森林型ごとに地下部現存量の推定値が報告されているデータだけを選別、抽出した。

常緑針葉樹林の2つのタイプについては、相当数のデータがあったため、ヨーロッパアカマツ林はさらに以下のような5つの地域に区分し、またトウヒ林 (*Picea abies*) については2地域に分けて解析を行った。なお、落葉広葉樹林については、利用可能な既存データ数が限られていたため、とくに地域を区分せずに解析を行った。以下にデータセットの概要を示す。

- ・ヨーロッパアカマツ林 計290林分 (林齢：4～230年生)
 - ウラル以西・中部タイガ (北緯54-62°) : 130林分
 - ウラル以西・北部タイガ (北緯60-68°) : 74林分
 - ウラル地方 (北緯54-64°) : 22林分
 - 西シベリア低地 (北緯56-60°) : 27林分
 - カザフスタン地方 (北緯50-54°) : 37林分
- ・トウヒ林 (*Picea abies*) 計131林分 (林齢：4～250年生)
 - ウラル以西・中部タイガ (北緯54-62°) : 97林分
 - ウラル以西・北部タイガ (北緯60-68°) : 34林分

- ・トウヒ林 (*Picea obovata*) 計 15林分 (林齢: 30~230年生)
ウラル地方 (北緯54-64°) : 15林分

落葉広葉樹林については、カンバ林が176林分 (そのうち根の現存量データ有りが116林分)、ヤマナラシ林が110林分 (同じく根の現存量データ有りが35林分) のデータを選定した。林齢の範囲は、カンバ林が6~110年生、ヤマナラシ林が2~95年生である。なお選定されたデータはその多くが一部の地域に集中していたため、上述の常緑樹林のように地域区分をせずに、それぞれの森林型ごとにデータセットを一括して解析に用いた。またカンバ林は、既存のデータベースでは2種 (*B. pendula*, *B. alba*) が区別されていたが、予備的な解析からこれらの2種間では現存量に関する特性に顕著な差が認められなかったため、ここでは両種合わせてカンバ林として取り扱った。

以上の手順で選別されたデータセットを用いて、まず林齢と地上部及び地下部 (根) 現存量の関係を調べ、各森林型における潜在的な炭素蓄積量と林齢に伴う蓄積速度を検討した。つぎに、地上部と地下部現存量の比 (T/R比) を指標に用いて、炭素配分パターンに関する樹種特性を検討した。

(3) 森林生態系の土壌有機炭素

極東地域、中央シベリア、ヨーロッパ・ロシアの代表的な常緑針葉樹林と落葉広葉樹林、針広混交林の3つの森林植生タイプごとに調査地を選定し、当初は土壌調査と試料採取を行う予定であったが、試料採取には当該地域を管轄する管区の軍及びロシア大統領府管轄の連邦科学技術交流情報保安局 (FSTEC) の許可が必要となり、事実上採取は不可能となった。そこで、既存の土壌研究のデータを検討し、森林タイプと土壌タイプの対応、土壌タイプごとの土壌炭素蓄積量の範囲を検討した。既存の土壌研究をとりまとめたものとしては、Alexeyev & Birdsey (1994) の英語訳 (1996)⁴⁾ を検討材料にした。

4. 結果・考察

(1) 極東の森林生態系

植生調査の結果、森林火災直後の3年生林分ではシラカンバが優占していた。発達した35年生林分ではシラカンバが優占するが、グイマツ、ヨーロッパアカマツなどがわずかに混交していた。データが不足している山火事後100年程度の林分を精力的に捜したが、1ヶ所を確認できただけであった。この地域では火災後100年生林分は少なかった。

現存量推定はグイマツ林分の地上部を対象に行った。時系列的に現存量を推定した結果、森林火災後からの経過年数と地上部に蓄積される現存量の推定式として、

$$\text{地上部現存量(ton)} = 64.12\text{Ln}(x) - 146.08$$

という推定式を得た (ここで、 x は森林火災後の経過年数)。この関係から得られた森林火災からの経過年数と地上部、地下部、土壌に蓄積する有機炭素量との関係を図1に示した。

また、広域での森林の生産量推定に必要なLAIデータは、グイマツ成熟林では $\text{LAI}=4.1 \pm 0.7 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ であった。本調査地に比較的近い東シベリア・永久凍土上のグイマツ林での研究結果と比べ、本

調査地では、森林火災によって焼失した地上部現存量は比較的早い段階で再生していた⁵⁾。これまでに調査を終えた林分での結果は、地上部の平均炭素蓄積量は、森林火災後、約50年を経ると平均50 ton C ha⁻¹ (ton=Mg:メガグラム) に達していた。同様に、約150年生林分までの結果として最大値は地上部125C ton ha⁻¹、土壌中の炭素蓄積量は145 C ton ha⁻¹に達していた。

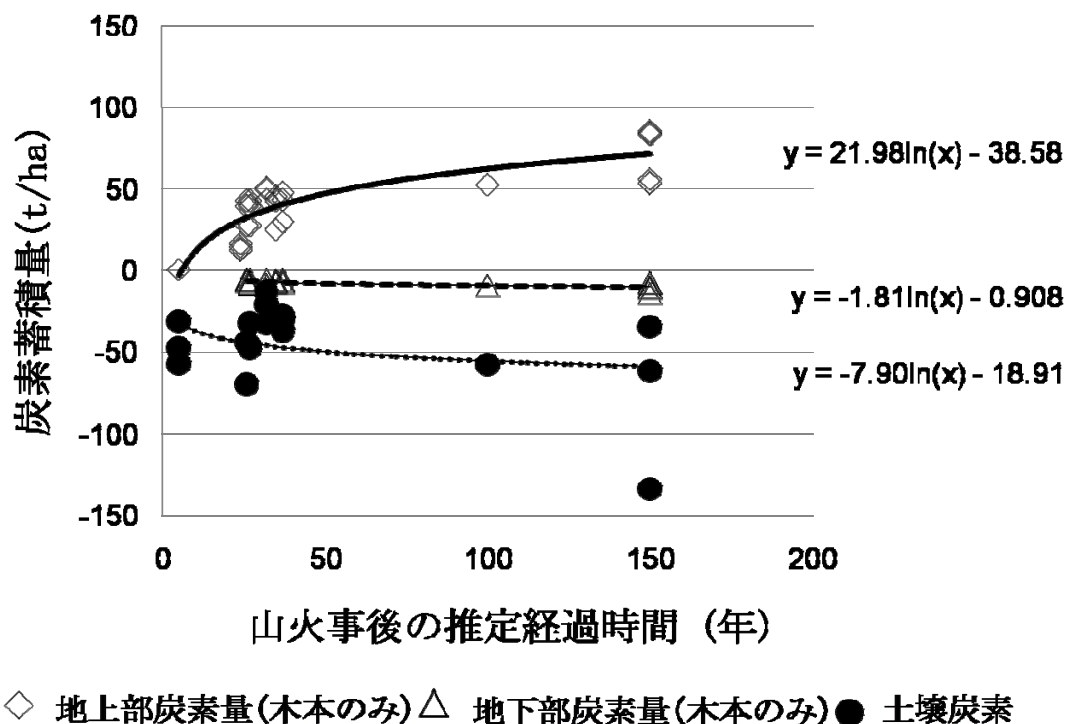


図1. 森林火災後の年数と炭素蓄積量の関係

(2) 中央シベリア及びヨーロッパ・ロシアの森林生態系

1) 常緑針葉樹林の炭素蓄積量

ヨーロッパアカマツ林の場合、選定した全データをプロットすると、地上部現存量は林齢とともにおおむね増加するが、100年生以降300Mg ha⁻¹ (Mg:メガグラム=ton) 程度で頭打ちになる傾向がみられた(図2左)。一方、地下部(根)現存量も林齢とともに増加するが、50年生以降でおよそ頭打ちになる傾向が認められた(図3)。しかし、データのばらつきは大きく、分布地域の違いによって林齢と現存量の関係は若干異なることがわかった。

トウヒ林については、同様に全データからその傾向をみると、地上部、地下部現存量ともに50年前後にピークがみられ、ヨーロッパアカマツ林は林齢に伴うバイオマスの増加速度と傾向が大きく異なることが示された。しかし、2つの地域(ウラル以西の中部タイガと北部タイガ)に区分すると、林齢と現存量の関係には明瞭な違いは認められなかった。

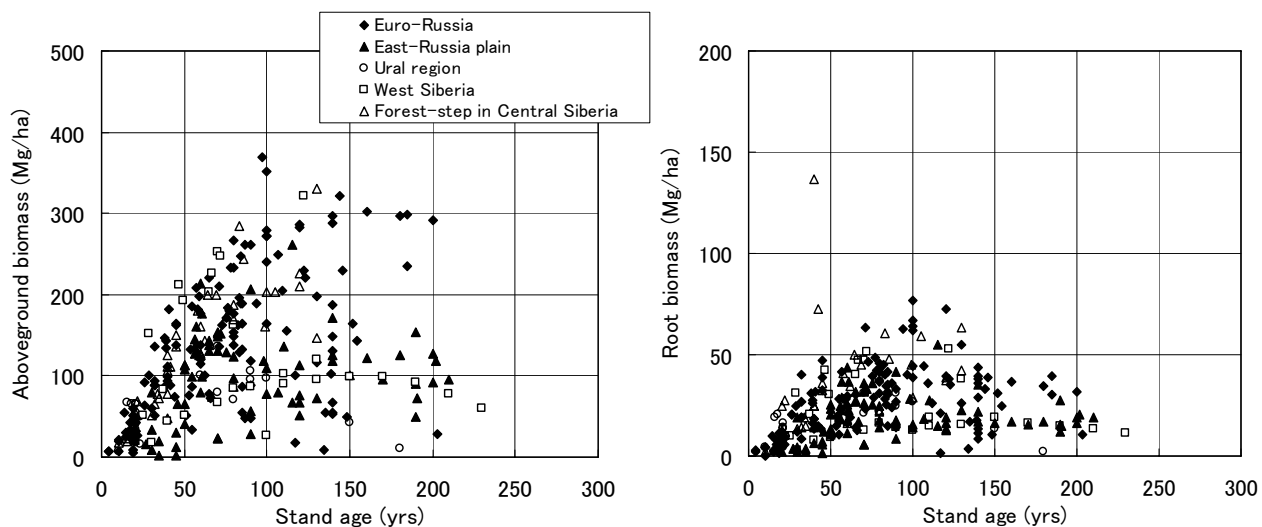


図2. ヨーロッパアカマツ林における林齢と（左）地上部および（右）地下部現存量の関係。
データは、5つの地域に区別して示した。

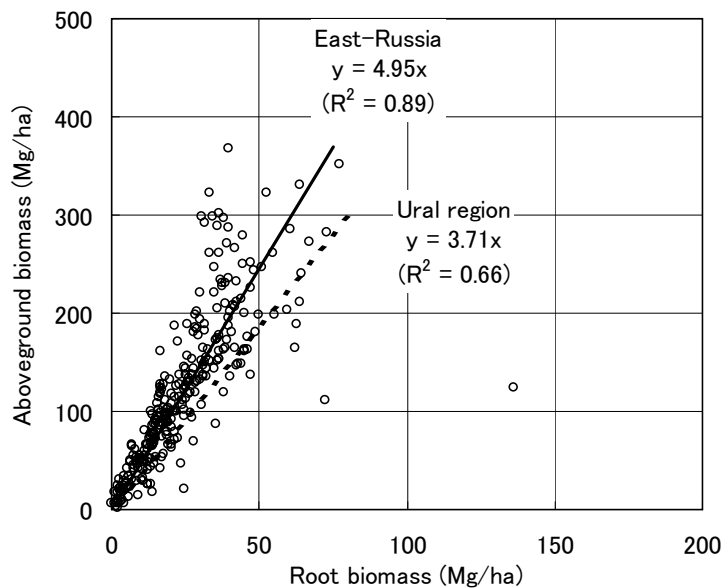


図3. ヨーロッパアカマツ林における地上部と地下部現存量の関係。
図中の直線と式は、実線がヨーロッパ・ロシア（ウラル以西）の、
破線がウラル地域のデータによる回帰結果をそれぞれ示す。

2) 常緑針葉樹林における地上部及び地下部への炭素配分

ヨーロッパアカマツ林の場合、地上部と地下部現存量の比 (T/R) はおおむね4~5の範囲にあった (図3)。しかし地域別にみると違いがみられ、たとえばモスクワからウラル山脈間の平原地帯の林分データだけで回帰するとT/Rは5近くになるが (図3の実線; East-Russia)、ウラル山脈の山地帯のより高標高の林分ではT/Rは3.7と小さい値を示した (図3の破線; Ural region)。この両地域間でのT/Rの差は、おもに標高の違いによる平均気温の差を反映している可能性がある。北方林以外の森林生態系でも一般的に広く認められているように、同じヨーロッパアカマツ林でもより寒冷な地域 (ウラル地方) ほど地下部 (根) への炭素配分がより多くなることを示唆している。一方、トウヒ林のT/Rはおおむね3前後で安定しており、ヨーロッパアカマツ林に比べてもかなり小さく、根への炭素配分がより大きい樹種であることが示唆された。

3) 落葉広葉樹林における炭素蓄積量

カンバ林 (Birch)、ヤマナラシ林 (Aspen) とともに、地上部と地下部の現存量は林齢とともに増加した (図4)。データセットには両種とも100年以上の高齢林分が含まれていないが、この林齢の範囲内でみれば地上部と地下部現存量には明瞭な頭打ちの傾向が認められなかった。

林齢と地上部現存量の関係性を直線回帰した式をみると、直線の傾きはヤマナラシ林の方がカンバ林より大きく、潜在的な炭素蓄積速度はヤマナラシ林の方がより高いことが示唆された (図4左)。根の現存量についても、地上部と同様にヤマナラシ林の方がその増加速度は大きい傾向にあることが認められた (図4右)。

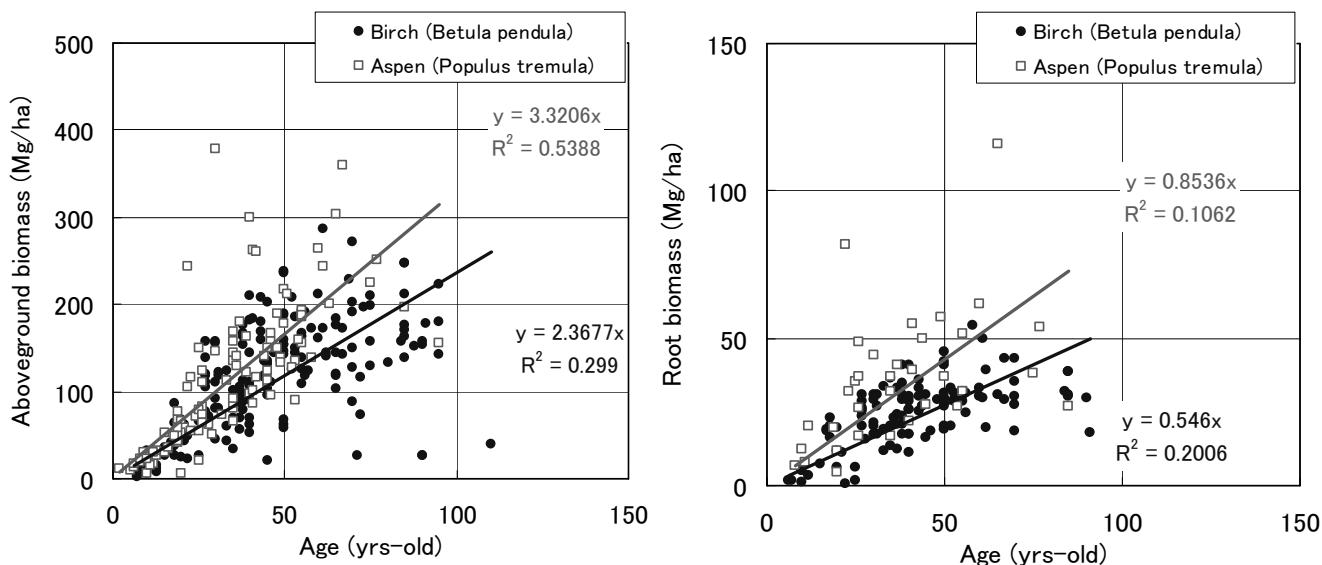


図4. カンバ林とヨーロッパヤマナラシ林における林齢と (左) 地上部及び (右) 地下部現存量の関係。

4) 落葉広葉樹林における地上部及び地下部への炭素配分

T/R比は、カンバ林の方が（約5.0）ヤマナラシ林（約3.7）よりかなり大きく、総現存量に根が占める割合がカンバ林の方が少ないことが示唆された（図5）。これら落葉広葉樹林における平均的なT/Rの値は、上述の常緑針葉樹林と比べると、カンバ林がヨーロッパアカマツ林のT/Rと（4～5）、一方ヤマナラシ林はトウヒ林（約3）に近く、常緑・落葉樹林の違いよりも、それぞれの優占種の違いで地上部、地下部への炭素配分パターンが異なることがわかった。

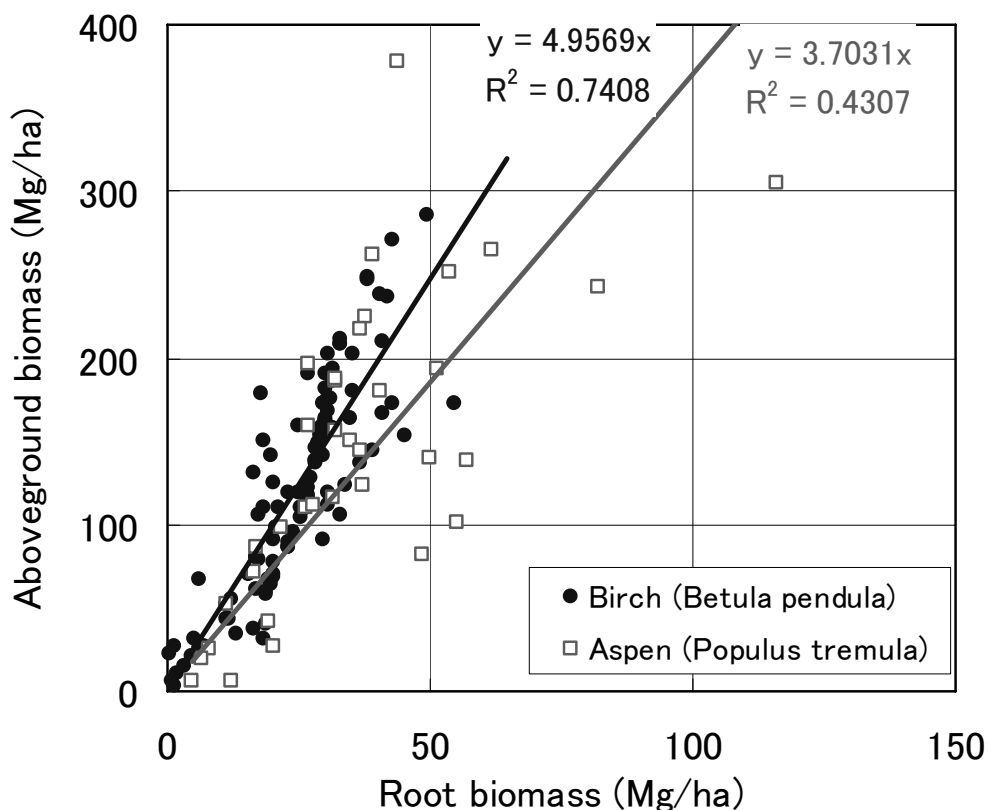


図5. カンバ林とヨーロッパヤマナラシ林における地上部と地下部現存量の関係。

図中の直線と式は、それぞれの林分データでの回帰結果を示す。

以上の解析結果から、ヨーロッパ・ロシア及び中央シベリアの非凍土地帯の主要な森林型については、炭素蓄積量のポテンシャルはヨーロッパアカマツ林やトウヒ林などの常緑針葉樹林の方が、カンバやヤマナラシが優占する落葉広葉樹林よりもかなり高いことがわかった。一方、T/R比に関する解析結果からは、地上部と地下部への炭素配分パターンには常緑・落葉樹林の違いよりも、優占する樹種固有の特性を反映した違いがあることが示唆された。したがって、対象地域の森林炭素蓄積量を衛星データによる植生分布図等と組み合わせて広域で推定する場合には、従来よく用いられてきた常緑・落葉樹林の区別だけではなく、それぞれの優占樹種を区分することが、

とくに地下部も含めて推定する場合においては重要であることが明らかになった。さらに、林齢の区分が衛星データ上でもある程度可能であれば、林齢をパラメーターにすればより高精度で炭素蓄積量を推定できる可能性も示唆された。

(3) 森林生態系の土壌有機炭素

ロシア北方林に広く分布する土壌は、気候帯と同様に帯状に分布すると考えられてきたポドゾル土壌ではない。永久凍土が分布する地域はもちろん、非凍土域においても最新の分類システムではポドゾルやその類縁土壌の面積は少なく、ロシア北方林の非凍土域の大部分はUSDAの分類ではアルフィソル、FAOの分類ではルビソルないしはアルベルビソルまたはグライソルと分類される。ただしロシアの分類ではUSDAやFAOとは異なる基準のため、ポドゾル類縁土壌が広く分布する土壌図が提案されている。

これらの土壌では土層内の粘土移動によって下層土にまで有機物吸着作用が及ぶこともあり、土壌有機炭素の推定を土層のどの深さまでを対象として計算に繰り込むかが問題となる。ほとんどの研究では土壌の深さ30~50cmまでの蓄積量であるか、深い場合でも70cmであり、近年の深さ1mまでとする研究例は少ない。

1) 土壌炭素の推定方法の検討

土壌の炭素集積量推定に際して、炭素定量を行った分析方法も推定値に大きく影響するが、土壌の仮比重（一定体積あたりの乾燥重量）と細土率（1-石礫率）が最も大きく影響する。ロシアの土壌の仮比重は日本等の火山灰混入土壌に比べて大きいため、炭素濃度が低いにもかかわらず集積量の推定値は大きくなる傾向が見られる。また、大河川の段丘面に分布する砂質~シルト質土壌や、高原台地状の地形面に広がる粘土質土壌では石礫の混入率に大きなばらつきが認められている。今回検討した土壌データベースの集計を見る限り（324断面）、仮比重の値の範囲は示されているが、細土率などは確認できなかった。また、土壌炭素の推定に用いられた試料の深さが50cmまでの324断面をもとに、1mまでの深さに蓄積した炭素量を推定値として挙げている等、推定値の信頼性には検討の余地がある。

ロシアの森林土壌について、土壌有機炭素（SOC: Soil Organic Carbon）を既存の研究データから推定することについては、前述の土壌の仮比重と細土率、石礫率補正の問題の他に、旧ソ連時代からの腐植化学分析の伝統が障壁となる場合がある。西側諸国で通常用いる有機炭素含有量の分析手法との違いがあることと、土壌腐植分画成分の分析に重きが置かれてきたため、炭素の含有率ではなく腐植物質の含有率で論文などには表記されてしまうことである。これらの既存データの読替手法としては、腐植の含有率として示されている数値を1.724の係数で割ることによって炭素そのものの含有率に変換して集計している。

2) 森林類型ごとの土壌炭素集積量

土壌炭素の集積量は行政区画ごとの集計と森林生態系の類型ごとにとりまとめられている。ウラル山脈以西のヨーロッパ・ロシアの地域に分布する常緑針葉樹林タイガでは、類型ごとの平均値の範囲は47~104 MgC/haという推定範囲である。南部のコーカサス（カフカス）山地には一部

152 MgC/haという土壤炭素蓄積の大きな森林地帯や、ウラル山脈南部にも213MgC/haという大きな土壤炭素集積量を示す亜高山帯林が分布する。低湿地の森林を含む西部シベリアの常緑針葉樹／落葉広葉樹林地帯では111～179 MgC/haとさらに大きい値を示す。極東地域の針広混交林地帯では、アムール州、沿海州地方の森林地帯に黒色土と類似した土壤が分布するため、159-170MgC/haという集積量を示している。それ以外の極東地域では50～150 MgC/haである。

落葉広葉樹の主要な樹種であるカンバとヤマナラシでは、林齢が70年前後で地上部と地下部の現存量合計が180～240ton程度に蓄積していた。これを炭素に換算するとおよそ90～120tonC/haの蓄積量になる。森林現存量調査の行われた場所で土壤調査が行われてはいないために、カンバ類とヤマナラシの優占する林分における土壤有機炭素集積量は推定できなかった。しかし、土壤炭素蓄積量のデータ集⁴⁾によれば、カンバ類とヤマナラシが多数混生する落葉広葉樹林、混交林の分布域にあてはまる気候帯ごとにとりまとめた平均的な土壤有機炭素量は、ヨーロッパ・ロシアの土壤が53～65tonC/haの蓄積量であるのに対して、西シベリアでは129～133tonC/ha、中央シベリアでは105～146tonC/ha、東シベリアでは75～111tonC/ha、極東地域では95～106tonC/haの範囲となった。一概に落葉広葉樹林といっても、ヨーロッパ・ロシアでは土壤への炭素蓄積量が他の地域に比べて少ないことが判明した。

3) 堆積腐植層の炭素蓄積量と土壤有機炭素蓄積量

ロシアの森林を、分布する地形で平野地形と山岳地形に大別し、さらに地域に区分して集計した森林面積と平均の炭素蓄積量をまとめたものが表1と表2である。表1は堆積腐植層に蓄積する有機炭素量、表2は土壤に蓄積している有機炭素量である。

ロシアの全森林面積に蓄積している炭素量は13,506百万ton (13.5Gton: ギガトン) であり、このうち非凍土地帯におよそ7割にあたる8.9Gtonが、サブテーマ(1)で対象とした永久凍土地帯の森林に3割(4.6Gton)が分布していると推定できた。表1でとりわけ大きな蓄積量と平均蓄積量を示すのが、北方林のヨーロッパ・ロシア地域の北部～中部タイガである。この地域は湿地林も点在する地域で、西シベリア地域よりも大きな平均値を示した。森林ステップに移行する地域では、堆積腐植層の炭素蓄積量が少ないものの、極東地域の森林ステップでは平均炭素蓄積量がヘクタール当たり19 ton Cと大きな値を示した。

表2には、ロシア森林全体の土壤に蓄積している有機炭素量の推定値を示した。74,024百万ton (74GtonC) の有機炭素蓄積量のうち、非凍土地帯の森林土壤に約7割が存在し、凍土地帯に3割が分布している。平均の土壤有機炭素蓄積量はヘクタール当たり96tonCで、ヨーロッパ・ロシアの森林ではほとんどこの平均を下回っていた。非凍土地帯の森林土壤の平均蓄積量の最大は、中央シベリアの森林ステップに区分された地域の、ヘクタール当たり220tonCであった。

	堆積腐植層の炭素蓄積量		蓄積量／平均値		
	ヨーロッパ ロシア	西 シベリア	中央 シベリア	東 シベリア	極東
平野地形					
森林ツンドラ地帯	87/26	318/26	655/25	-	-
北方林地帯					
北部タイガ	1154/32	438/21	368/11	-	-
中部タイガ	940/25	660/16	392/16	926/14	-
南部タイガ	467/13	483/16	426/17	-	-
混交林	130/10	-	-	-	-
森林ステップ地帯	76/8	103/15	55/14	-	110/19
ステップ地帯	2/1	13/7	-	-	-
沙漠地帯	0/1	-	-	-	-
山岳地形					
亜寒帯	4/13	-	156/19	39	18
北方林地帯	105/13	-	369/16	63	63
周北方林地帯	47/8	-	666/15	-	-
コーカサス地域	10/3	-	-	-	-
乾燥地帯	1/3	-	23/10	-	-
合計 13,506 MtC / 18 tC ha ⁻¹					

表 1. ロシアの地域別の森林における堆積腐植層の炭素蓄積量（総量／ha当りの平均蓄積量）

	森林土壌のSOC蓄積量		蓄積量／平均値		
	ヨーロッパ ロシア	西 シベリア	中央 シベリア	東 シベリア	極東
平野地形					
森林ツンドラ地帯	221/65	1361/111	2158/81	-	-
北方林地帯					
北部タイガ	2695/75	2605/125	2541/76	-	-
中部タイガ	2423/65	5305/129	3129/128	7036/104	-
南部タイガ	1901/53	4019/133	3661/146	-	-
混交林	1041/79	-	-	-	-
森林ステップ地帯	997/104	1225/179	869/220	-	982/170
ステップ地帯	158/90	178/97	-	-	-
沙漠地帯	8/70	-	-	-	-
山岳地形					
亜寒帯	33/99	-	416/51	2291/58	1034/56
北方林地帯	500/62	-	2600/113	4685/75	6039/95
周北方林地帯	512/88	-	4787/105	2969/111	2885/106
コーカサス地域	503/152	-	-	-	-
乾燥地帯	25/88	-	237/102	-	-
合計 74,024 MtC / 96 tC ha ⁻¹					

表 2. ロシアの地域別の森林における土壌有機炭素蓄積量（総量／ha当りの平均蓄積量）

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

1) リモセン・衛星データとのリンク

本サブテーマで対象とした非凍土地帯の森林生態系については、生態学的な総合調査の基礎データが極東地域では乏しかった。ロシア極東部非永久凍土地帯の地上部現存量と地下部における炭素蓄積量が実測で新たに得られたことと、森林火災後の再生過程に沿った地上部現存量変化が解明されたことは、火災跡地の特定と経過年数から炭素蓄積の広域評価を行う際に、これまでの不確実さを大幅に軽減させる。

2) 地上部／地下部比率

森林の現存量推定で、調査が困難なためにデータ数が少ない地下部について、樹種ごとのT/R比の範囲や地域間の違いが解明された。これまで現存量推定に用いられてきた地上部／地下部比率では、場合によっては大きな誤差につながる事が判明した。今回の一連のデータ抽出作業で、これまで北米とヨーロッパに偏重していた現存量データが、ユーラシア域のデータまでカバーできたことは、全球的な評価のための重要な基礎的知見になる。

(2) 地球環境政策への貢献

ロシア極東地域などの森林火災頻発地域では、長期的に予測した場合にはカンバ林分の増加が炭素蓄積量の減少につながる可能性があることを示した。森林火災の頻発が樹種組成の変化につながるという森林遷移と炭素蓄積のシナリオ、また焼失した炭素量と回復速度などの知見に基づいて、地域ごとの炭素管理指針策定に役立つ。2007年の10月に東京で開催された「極東・シベリア森林保全作業部会」では、森林火災の森林資源への影響評価に関心が示され、日本側は日露の共同研究の促進を提案した。

6. 引用文献

- (1) Hatano, R., Takakai, F., Morishita, T., Takao, G. and Desyatkin, R.V. (2006) Contribution of forest fire and land covers to emissions of CO₂, CH₄ and N₂O in Central Yakutia. In: Symptom of Environmental Change in Siberian Permafrost Region (eds, Hatano R. and Guggenberger G.), Hokkaido University Press, Sapporo, Japan, pp 39-54
- (2) Chandler, Craig C. (1991) Forest Fire Management, Krieger.
- (3) Usoltsev VA (2001) Forest biomass of northern Eurasia: Database and geography. (in Russian) 706 pp, Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg.
- (4) Alexeyev VA, Birdsey RA (1998) Carbon storage in forests and peatlands of Russia. 137pp, USDA Forest Service, General Technical Report NE-244.
- (5) Kajimoto, T., Matsuura, Y., Osawa, A., Abaimov, A.P., Zyryanova, O.A., Mori, S. and Koike, T. (2006) Forest Ecology and Management 222 : 314-32. Size-mass allometry and biomass allocation of two larch species growing on the continuous permafrost region in Siberia.

7. 国際共同研究等の状況

(1) 北海道大学がロシア極東農業大学との間に結んでいる提携

- ・協力案件名：極東ロシアにおける森林再生と現存量推定に関する調査研究
- ・カウンタパート氏名：P. Tikhonchuk教授（副学長）、Y. Nemilostiv助教授
- ・所属：極東農業大学（Far East State Agriculture University:FESAU）
- ・所在地：アムール州ブラガヴェシエンスク市、ロシア連邦共和国
- ・連携状況：毎年現地調査を共同でおこない、セミナーを日ロで交互に行ってきた。また、日本側から大学院生がTikhonchuk教授の指導する土壌学研究室に訪問滞在し、Prokopchuk教授の指導を受けながらプロジェクトの推進に貢献した。
- ・国際的な位置づけ等：極東農業大学は、ロシアのマガダン州、沿海州地方、ハバロフスク地方、サハリン州、カムチャッカ州、アムール州の農学研究者を輩出してきた拠点校である。その大学との研究交流の窓口を形成することができた。

(2) 森林総合研究所がロシア科学アカデミー・スカチェフ森林研究所と結んでいる提携

- ・位置づけ：日露科学技術協力の中に、共同研究として位置づけている。
- ・カウンタパート：A. Onuchin所長、O. Zyryanova上席研究員
- ・所属：ロシア科学アカデミー・スカチェフ森林研究所
- ・所在地：クラスノヤルスク市、ロシア連邦共和国
- ・連携状況：日露科学技術協力協定、日露環境合同委員会、極東・シベリア森林保全作業部会などを通じて、円滑な共同研究が進められるようにロシア側に要望し、日露間の共同研究促進のための情報交換を進める。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 小林真・Bruanin, S.V., Naumenka, A.V., Nemilostiv, Y.P.・吉田俊也・佐藤冬樹・笹賀一郎・小池孝良：山火事後に形成される様々な林床環境がグイマツ・ヨーロッパアカマツ・エゾマツ種子の発芽に与える影響—極東ロシア・アムール州の事例—。日本森林学会北海道支部論文集 55:23-25. (2007)
- 2) Koike, T., Kitaoka, S., Masyagina, O.V., Watanabe, Y., Ji, D.H., Maruyama, Y. and Sasa, K.: Nitrogen dynamics in leaves of deciduous broad-leaved tree seedlings grown in a unmanaged larch plantation in northern Japan. Eurasian Journal of Forest Research 10: 115-119. (2007)
- 3) Makoto, K. and Koike, T.: Effects of nitrogen supply on photosynthetic and anatomical changes in current-year needles of *Pinus koraiensis* seedlings grown under two irradiances. Photosynthetica 45:99-104. (2007)
- 4) Makoto, K., Nemilostiv, Y.P., Zyryanova, O.A., Kajimoto, T., Matsuura, Y., Yoshida, T., Satoh, F., Sasa, K. and Koike, T.: Regeneration after forest fires in mixed conifer

broadleaved forests of the Amur region in Far Eastern Russia: the relationship between species specific traits against fire and recent fire regimes. *Eurasian Journal of Forest Research* 10: 51-58. (2007)

- 5) Zyryanova, O.A., Yabarov, V.T., Tchikhacheva, T.L., Koike, T., Makoto, K., Matsuura, Y., Satoh, F., and Zyryanova, V. I.: The structure and biodiversity after fire disturbance in *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. forests, northeastern Asia. *Eurasian Journal of Forest Research* 10: 19-29. (2007)

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 小池孝良：森林火災で乱される永久凍土と森のメカニズム、森林環境 2006、31-41. (2006)
- 2) 小林真：ロシア極東南部の針広混交林における山火事後の森林再生に関する研究のはじまり、北方林業 58:80-83. (2006)
- 3) 小林真・唐木貴行：火災が土壌特性に与える影響に関する国際会議に参加して、北方林業 60:32-35. (2008)

(2) 口頭発表（学会）

- 1) 小林真・池東焄・笹賀一郎・佐藤冬樹・吉田俊也・小池孝良：異なる栄養・光環境下で生育したチョウセンゴヨウ稚樹の光合成特性の評価、日本森林学会北海道支部会、札幌、2005年11月.
- 2) 小林真・Zyryanova O.A.・Masyagina O.V.・Yaborov V.T.・Nemilostiv Y.P.・梶本卓也・松浦陽次郎・鷹西俊和・上浦達也・吉田俊也・佐藤冬樹・笹賀一郎・小池孝良：極東ロシアの針広混交林に発生した山火事後の初期現存量推定、第117回日本森林学会、東京、2006年4月.
- 3) Makoto K. Nemilostiv Y. P. Kajimoto T. Matsuura Y. Yoshida T. Satoh F. Sasa K. Koike T.: Regeneration and the recovery of aboveground biomass after forest fires in mixed conifer-broadleaf forests, Far Eastern Russia. CTC Joint Symposium. Blagoveshchensk, Russia. October, 2006.
- 4) Makoto K. Bruanin S. V. Serikawa K. Kushida K. Kajimoto T. Matsuura Y. Zryanova O. A. Yaborov V. T. Nemilostiv Y. P. Yoshida T. Satoh F. Sasa K. Koike T.: A cooperative study on the effect of forest fires on forest carbon flux in Amurskaya oblast: A hot spot of the man-made frequent fires. First International Northeast Asia Forest Fire Conference, Khabarovsk, Russia. October, 2006.
- 5) Makoto, K. Ji, D. Sasa, K. Satoh., F. Yoshida, T. Koike. T.: Photosynthetic performance in five needles' pine (*Pinus koraiensis*) seedlings as affected by the combination of light and nitrogen. East Asia Form of Ecological Society 2nd, Niigata, Japan, March 2006.

- 6) 小林真・Nemilostiv Y.P.・梶本卓也・松浦陽次郎・鷹西俊和・小塚力・上浦達也・小宮圭司・吉田俊也・佐藤冬樹・笹賀一郎・小池孝良：極東ロシアの針広混交林における近年の山火事レジームが森林の現存量・植生に与える影響、第 118 回日本森林学会、福岡、2007 年 4 月。

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

セミナー名称：東アジアにおける自然攪乱・人為攪乱後の針広混交林の更新動態（International seminar on “Regeneration and dynamics of mixed conifer broad-leaved forests in East Asia after Natural and Man-made disturbances”）

開催日時：2006年10月12～13日

開催場所：アムール州、ブラガヴェシエンスク市、極東農業大学

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

(6) その他

なし