

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月3日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2012

課題番号：21405008

研究課題名(和文) シルビクロノロジー：過去の森林現存量増加速度の復元、変動要因解析、および将来予測

研究課題名(英文) Silvichronology: reconstructing forest biomass increment in the past, analyzing factors of fluctuation, and future prediction

研究代表者

大澤 晃 (OSAWA AKIRA)

京都大学・地球環境学堂・教授

研究者番号：90288647

研究成果の概要(和文)：研究期間にカナダ、アラスカ、エストニアなど28林分から周北極域の各地域をカバーする幹円板サンプルおよびデータを収集し解析に供した。1930年代から40年代にかけて周北極域では広く温暖化が進んだが、これに呼応して、林分レベルで明瞭な現存量蓄積速度減少パターンが存在することを初めて明らかにすることができた。気候要素との具体的な相関解析は今後の課題として残っているが、当初の目的を果たすべく解析を継続している。

研究成果の概要(英文)：Stem samples and data were collected from 28 forest stands during the study period in Canada, Alaska, Estonia, etc., and were analyzed. There was a rapid and widespread warming in the Arctic region during 1930s and 40s. Biomass accumulation in forests was shown for the first time to have declined substantially during this period. Analyses of the relationship between climate factors and forest growth still remains to be conducted, and we continue to work on this task to reach the original objective of this project.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2010年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2011年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2012年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：生態・環境

キーワード：森林、現存量、シルビクロノロジー、年輪年代学、成長解析、亜寒帯林、*Picea mariana*、*Populus tremuloides*

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化問題に関する国際的研究を推進するための枠組みとしてGlobal Carbon Projectが組織され、全地球的な炭素吸収源の有力な候補と考えられる北半球陸上生態系(Tans et al. 1990; Stephens et al. 2007)の炭

素蓄積量と収支の研究が進んでいる(Kasischke & Stocks 2000; Goodale et al. 2002; Kitamoto et al. 2007)。一方、時間軸に沿ったバイオームの変化を捕えるため、数十年から数千年スケールでの生態系の経時変化と環境要因との関係が、これまで主に二つの方

法によって調べられてきた。第一は花粉分析などによる過去の植生復元と樹木年輪年代学による過去の気候要素(平均気温、降水量など)の推定を基にした両者の関係の解析(Harrison et al. 2007; Zhao et al. 2007)、第二は気候要素と現存するバイオームとの関係を表現するモデルを作成し、これと地球気候モデルによる気候予測とから将来のバイオームの分布を推定する仕事である(Cramer et al. 2001; Prentice et al. 2007; Sitch et al. 2008)。これらの方法によって、気候要素とバイオームとの対応付けが可能になった。しかし、生態系の有機物量や炭素蓄積量、その変化量をバイオームモデルから推定した値の信頼性は高くない。地域レベルの有機物・炭素蓄積量とその変化量の時間軸に沿った推定を客観的に行うためには、これらを明確に変数として取り扱うことのできる第三の方法が不可欠である。このような方法のひとつに生態系シミュレーションモデルがあるが、複雑になるほどモデルの妥当性の確認や現実の生態系との比較が困難になるという問題があった。したがって、これらの欠点を克服した新たな第三の方法(または第四の方法:たとえば現存する生態系を詳細に直接測定することにより、その生態系の過去や未来の現存量、その変化量などを推定することのできる方法)の登場が待たれていた。

本研究代表者の大澤が近年提唱したOAZ法はこの新しい方法のひとつに相当する。これは、林分レベルで生態系の現存量とその変化量の時間変化を現在から過去に遡って推定する客観的な方法である(Osawa et al. 2000; Can. J. For. Res. 30:580-588)。樹幹解析データと共に現存する森林から得られるデータだけを使い、樹木個体のサイズ分布に関する法則性を仮定することによって、過去の任意の年の林分材積、現存量、現存量増加量、個体サイズ分布、林分密度などが過去のデータの蓄積なしに推定できる(Osawa et al. 2001a, 2001b, 2005)。このようにして推定された過去の現存量データから成長にともなう系統的变化の除去と標準化を行うことができれば、樹木年輪年代学の手法を応用して気候要素と現存量の変動量の関係を解析できるはずである。成長曲線の分析に関するHozumiのUW法(1985, 1987)を用いれば

この系統的变化除去の作業を行うことができることに最近気がついた。

2. 研究の目的

研究期間内に達成することとして、本研究では二つの目標を掲げた。第一の目標は、本研究で構築されるシルビ・クロノロジーの方法を用いて、林分レベルの過去の現存量とその増加速度が復元でき、また将来の現存量増加量などが推定できることを、数種類の異なる森林タイプに属する林分で示すことである。第二の目標は、シルビ・クロノロジーの方法を数平方キロメートルの亜寒帯林に適用して、地域レベルの現存量増加速度の復元と温暖化の進行に伴って変化する森林の将来予測を実際に行うことである。

3. 研究の方法

研究計画の概要: 本研究では、二つの目標を達成するための研究をほぼ平行して行う。第一に、シルビ・クロノロジーの解析法によって過去の森林現存量とその増加量が推定でき、気候要素と現存量増加量との定量的関係が求められることを、グメリンカラマツ(*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.)、バンクスマツ(*Pinus banksiana* Lamb.)、マリアナトウヒ(*Picea mariana*)の天然林およびヒノキ(*Chamaecyparis obtusa* Endl.)人工林を対象として示す。解析には、各林分の毎木調査データとそれぞれから約10本分採取した樹幹解析用の幹サンプル、およびそれぞれの樹種の単木現存量を求めるアロメトリー式が必要である。また各対象地域の気候要素の時系列データが必要である。第二に、地域レベルの現存量増加速度の過去に遡っての推定とその将来予測を行う。主としてカナダのマリアナトウヒ天然林からなる数平方キロメートルの地域を対象とする計画である。

査対象林分および地域: 第一の目標を達成するための調査林分には亜寒帯林と温帯林が含まれる。これらの所在地は、グメリンカラマツがロシア・エベンキ州トゥラ村近郊(64°N, 100°E)、バンクスマツとマリアナトウヒが、カナダ・北西準州のウッドバッファロー国立公園(WBNP; 60°N, 113°W)内、ヒノキが滋賀県大津市の龍谷の森である(35°N, 136°E)(表参照)。グメリンカ

ラマツ林のサンプルとデータは Osawa et al. (2000)論文で解析したものがすでに存在し、これを再解析する。バンクスマツは、約 170 年生の林分から採取した 10 本分の樹幹解析用サンプルで未解析のものがある。また、同林分に永久プロットが設定されており、毎木調査データと調製された現存量推定用アロメトリー式がある(Osawa & Kurachi 2004)。マリアナトウヒ林は調査予定地域に 2008 年夏に設定された永久プロットが 3 つあり、これらの周辺から樹幹解析用サンプルを採取した。現存量のアロメトリー式もすでに存在する。ヒノキは、龍谷の森にある永久プロットを利用する。

第二の目標のための調査地域は、既出のマリアナトウヒ 3 林分を含んだ約 2 km X 3 km の地域としてウッドバッファロー国立公園内に設置した。

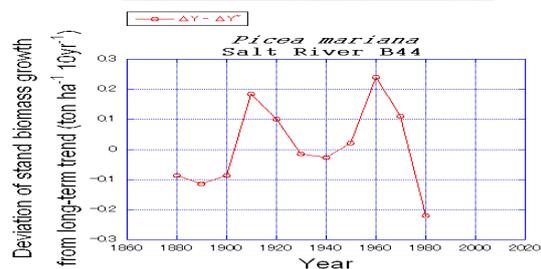
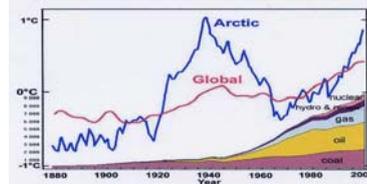
解析方法の概要: シルビ・クロノロジーにおける解析方法の概要は次の通りである。OAZ 法(Osawa et al. 2000)によって推定した過去のある年の林分現存量を \hat{Y} とする。 \hat{Y} の推定に必要な樹幹解析に際しては年輪情報にクロスデイティングを施し、欠損輪の検出を行う。この \hat{Y} の値を W と読みかえて UW 法(Hozumi 1985, 1987)を適用し、 \hat{Y} の成長曲線を成長関数の係数とともに決定する。当てはめた成長曲線が示すある年の現存量を Y とする。現存量の変動量 ΔY は $\hat{Y} - Y$ で表されるが、UW 法から推定された Y の最大到達可能値 Y_{max} を使って、標準化された変動量 $\Delta y = (\hat{Y} - Y) / Y_{max}$ または $\Delta y = (\hat{Y} - Y) / Y$ を計算する。そして、この無次元量 Δy に対して既存の年輪年代学的解析法を適用し、標準化された変動量と気候要素間の関係を解析する。解析に際しては ARIMA モデル(Yamaguchi 1986)などを用い、 Δy 時系列データの自己相関除去を行う。

4. 研究成果

カナダ・サイトのマリアナトウヒ林とポプラ林、過去に間伐が行われたスギ林・ヒノキ林、また、北欧スコツパイン林ではフィンランドおよびエストニア研究者グループと共同でサンプル採取・現地調査を実施した。さらに、カナダ北西部・北極海近くの森林限界およびアラスカの永久凍土上マリアナト

ウヒ林からも幹円板サンプル採取を行い、合計 28 林分からのサンプルを用いて解析を行っている。また、年輪解析結果を用いて、シルビクロノロジー的解析を開始した。

現在いくつかの林分からの解析結果が出ている。研究期間に集積したサンプルからの情報の全容が明らかになるにはもう少し時間がかかるが、すでに注目すべきパターンが明らかになった。図にあるように、周北極域では 1920 年から 1940 年にかけて急激な温暖



化が進んだ (Polyakov et al. 2002)。その後 1960 年ごろにかけて今度は逆に寒冷化し、さらにその後、1970 年前後から現在に続く再び急激な温暖化が進行中である (Polyakov et al. 2002)。シルビクロノロジー的解析をカナダ北西準州のマリアナトウヒ林と中央シベリアのグメリンからマツ林に適用したところ、林分復元法によって推定された過去の森林現存量または林分材積に成長曲線をあてはめて推定した林分成長の理論値と推定された実際の経年変化との差として表される「林分成長量異常 (stand growth anomaly) または deviation of stand biomass growth from long-term trend) は気温変化のパターンと逆相関をなす変化を示し、温暖化が進んだ 1920-40 年代に stand growth anomaly が大幅な減少を示した (二つ目のグラフ参照。一つ目のグラフは S. Akasofu より)。まだ解析数が十分ではないが、周北極域で一般的にみられるパターンの発見の端緒と考えている。残りのサンプルの解析を進めこの確認を急ぐ必要がある。

本研究の結果、(1) 林分構造復元法を亜寒帯林などの多くの林分に適用して過去の林分現存量や林分材積の推定 (定量的復元) が可能なこと、(2) その結果推定された「林分

成長量異常」が周北極域の過去の気温変動と逆相関的な対応を見せるらしいこと、また、(3)「林分成長量異常」を使ってさらに計算した指数を使えば年輪年代学的解析を林分現存量ベースで適用可能なこと、などが明らかになった。サンプルの解析が完了すれば、本研究により、新しい環境解析手法としてのシルビクロノロジーの基本部分の構築が成し遂げられたと考える。

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 3 件)

①安江恒. 年輪から読む樹木・森林・環境のうごき-樹木年輪年代学の応用. 森林科学 65(2012) 54-59. [査読有] <http://www.forestry.jp/publish/ForSci/>

②Osawa A, Aizawa R. A new approach to estimate fine root production, mortality, and decomposition using litter bag experiments and soil core techniques. *Plant and Soil* **355** (2012) 167-181.[査読有]DOI 10.1007/s11104-011-1090-6

③Mori S, Yamaji K, Ishida A, ..., Osawa A, et al. Mixed-power scaling of whole-plant respiration from seedlings to giant trees. *PNAS* **107** (2010) 1447-1451. [査読有] <http://www.pnas.org/>

[学会発表] (計 12 件)

①野口享太郎、松浦陽次郎、Sparrow S, Hinzman L. 斜面位置の異なるクロトウヒ林における細根現存量. 第124回日本森林学会大会. 2013. 3. 27、岩手大学、盛岡.

②檀浦正子、佐々木隆史、牧田直樹、野口享太郎、森下智陽、松浦陽次郎、Hinzman L. アラスカ内陸部永久凍土上に成育するクロトウヒの根呼吸測定. 第124回日本森林学会大会. 2013. 3. 27、岩手大学、盛岡

③大澤晃、倉地奈保子. カナダ亜寒帯林における細根生産量、地上部リター量、林分構造の相互関係. 第124回日本森林学会大会. 2013. 3. 26、岩手大学、盛岡.

④加藤顕、石井弘明、梅木清、大澤晃、吉田俊也、小林達明. 地上レーザーを用いた樹木構造把握. 第124回日本森林学会大会. 2013. 3. 26、岩手大学、盛岡.

⑤藤井一至、松浦陽次郎、大澤晃. カナダ周極域トウヒ林における永久凍土の夏季融解が土壌リンを放出する. 第60回日本生態学会大会、2013. 3. 7 静岡コンベンションアーツセンター、静岡.

⑥ Osawa A. Estimating fine root dynamics with rates of thickness-dependent root mortality, decomposition, and thickening. 2013.3.7 静岡コンベンションアーツセンター、静岡.

⑦川村あゆみ、牧田直樹、大澤晃. 細根分解過程で微生物呼吸はどのように変化するのか?-細根リターの化学性と形態特性からの探索- 第37回日本根研究学会. 2012. 12. 2 京都大学、京都

⑧大澤晃. 太さによる根の枯死、分解、タリ率を考慮した細根動態推定のフレームワーク. 第37回日本根研究学会. 2012. 12. 2 京都大学、京都

⑨大澤晃. 森林の樹冠フラクタル次元と事故間引き. 日本森林学会 2012. 3. 28 宇都宮大学

⑩Osawa A. Natural disturbance and tree species diversity in temperate forests. The 5th East Asian Federation of Ecological Societies International Congress. 2012.3.18, Ryukoku University, Ohtsu, Japan.

⑪Osawa A. A new approach to calculate fine root dynamics from sequential soil core or ingrowth core data, and its application to boreal forests. The 15th International Boreal Forest Research Association Workshop, 2011.8.17, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

⑫Osawa A. Manipulated soil cylinder experiment for assessment of forest carbon dynamics utilizing belowground litter trap-root ingrowth core device. The First International Symposium on Turkish-Japanese Environment and Forestry, 2010.11.5

Trabzon University, Trabzon, Turkey.

[図書] (計 4 件)

- ① 梶本卓也、松浦陽次郎、大澤晃. 陸域生態系の炭素動態、第 2 章-IV 節: 生態学的手法による炭素プールとフローの調査と解析. 京都大学学術出版会 (2013) 414p. pp101-120.
- ② 松浦陽次郎、大澤晃. 陸域生態系の炭素動態、第 3 章- I 節: 亜寒帯針葉樹林-北方林. 京都大学学術出版会 (2013) 414p. pp173-188.
- ③ Tran Van Do, Osawa A, Nguyen TT. Succession of secondary forest in Vietnam. Lambert Academic Publishing (2012) 101p.
- ④ Osawa A, Zyryanova OA, Matsuura Y, Kajimoto T, Wein RW. *Permafrost Ecosystems, Siberian Larch Forests*. Springer (2010) 502p.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大澤 晃 (OSAWA AKIRA)
京都大学・地球環境学堂・教授
研究者番号 : 90288647

(2) 研究分担者

安江 恒 (YASUE KOH)
信州大学・農学部・准教授
研究者番号 : 00324236
梶本 卓也 (KAJIMOTO TAKUYA)
森林総研・植物生態研究領域・領域長
研究者番号 : 70353638

(3) 連携研究者

宮浦 富保 (MIYAURA TOMIYASU)
龍谷大学・理工学部・教授
研究者番号 : 90222330
松浦 陽次郎 (MATSUURA YOUJIRO)
森林総研・国際連携推進拠点・室長
研究者番号 : 20353857