

平成22年3月31日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2006～2009
 課題番号：18310021
 研究課題名（和文）地球温暖化・気候変動下での流域環境変化に対する森林管理の有効性評価
 研究課題名（英文）Verification of the environmental protection ability for the forest management under the global warming and the climate changes

研究代表者
 篠田 成郎（SHINODA SEIROU）
 岐阜大学・総合情報メディアセンター・教授
 研究者番号：80187369

研究成果の概要（和文）：長良川上流森林域での現地観測より、間伐を主とする森林管理は、土壌水分保持能力を高め、水環境保全に大きく寄与する一方、炭素収支面では土壌呼吸量が増大する場合も発生することが明らかとなった。また、炭素収支・経済評価モデルを構築し、長良川流域に適用した結果、長期間使用できる建設用材などに木材を利用することで、バイオマス燃料として利用するよりも高い炭素固定と社会的純便益を達成できることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：It was found that a forest management such as thinning improved the ability to retain moisture in the soil and became effective to preserve the water environment from field observations at the artificial forest in the Nagara River Basin. However, there were cases that the thinning increased the amount of microbe in the soil. A model to evaluate the carbon balance and the economy for a region including forested area was proposed. As the result of the application to the Nagara River Basin, it was found that the amount of carbon fixation and the social benefit became higher by using woods as the timber for constructions than by using as biomass resources.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2007年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2008年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2009年度	2,900,000	870,000	3,770,000
年度			
総計	12,300,000	3,690,000	15,990,000

研究分野：水文学

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価、環境政策

キーワード：緑のダム、間伐、森林土壌、CO₂収支、環境変動、リモートセンシング、応用一般均衡モデル、経済評価

1. 研究開始当初の背景

近年の林業衰退に伴う森林管理の低下に加え、気温上昇や降水パターンの変化により、森林流域での物質収支が大きく変わってきて

ている。とくに、放置人工林では、雪害や風倒木などの被害だけでなく、降雨流出応答の短期化による洪水危険度の増大や濁水流出の長期化による生物生息環境の悪化など、

数々の重大な問題が顕在化してきている。森林の社会的公益性から考えれば、国や自治体による環境税や森林税などの新たな財源に基づく森林管理向上施策は必然性を持っている。研究代表者らによる研究開始当初の全体構想では、森林を木材生産の場とする経済林と公益性を重視したいわゆる環境林とに明確に分けて捉えるのではなく、全ての森林に対して、客観的かつ定量的な公益性評価に基づく経済価値を与え、この対価として公共資本を投下するしくみを創りあげることが目標とした。具体的には、森林管理目標が明確に設定された森林に対して、森林組合、企業、NPOなどの事業者による施業計画を公募するとともに、この施業によって生み出される公益的経済価値を推定評価し、事業者に対して適切な金額を行政が支払うことにより、市場経済原理に基づく環境保全型林業を創生させることを目指した。

2. 研究の目的

上述の全体構想実現のためには、地球温暖化に伴う気温上昇や気候変動に伴う降水パターン変化といったバックグラウンドとしての非定常な自然環境変化の下で、人為作用系としての森林管理が様々な森林機能に及ぼす影響を評価することが不可欠となる。また、こうした森林機能変化を経済的に評価することも必要である。このため、本研究計画では、水分、土砂などの移動特性として代表される森林内物質収支に及ぼす気温上昇および降水パターン変化と森林管理状態の影響を現地観測から明らかにする。また、これらの検討に基づき、流域環境変化に対する森林管理の経済効果を評価することにより、環境保全型林業の創生による新たな社会システム構築という全体構想における学術的基盤を築き上げる。

3. 研究の方法

上述の目的を達成するため、本研究では、木曾川水系長良川上流の針葉樹を主とする人工林について、間伐などの森林管理が行き届いた森林流域と全く管理されず放置された森林流域を研究対象として、次の4項目の研究を進めた。

- (1) 森林内物質収支に及ぼす森林管理状態の影響評価
- (2) 森林流域での気温上昇および降水パターン変化の評価
- (3) 森林内物質収支変化による流域環境変化への影響評価
- (4) 流域環境変化に対する森林管理の経済効果の評価

4. 研究成果

本研究の最大のポイントは、間伐実施の有

無という森林管理状態の違いが存在するだけで、樹種、林齢、標高、斜面方位、地質、林分面積などのその他の全ての条件が一致する2つの隣り合う林分を対象とした現地観測（現地比較実験）を行うことにより、温暖化・気候変動下での森林管理の有効性を明らかにするとともに、ここで得られた結果を経済評価につなげるところにある。主な観測フィールドは岐阜県郡上市大和町の古道市有林（木曾川水系長良川支川栗栖川上流の郡上市有林）であり、2年半にわたる継続的な現地観測を実施した。以下、こうした現地観測・データ解析、気象・水文データの統計解析・モデル解析、経済評価モデル解析などによる研究成果を列記する。

(1) 森林内水収支を支配する森林内光環境や間伐実施状況を定量的に評価するために、航空機搭載 MSS（マルチスペクトルセンサー）およびレーザープロファイラによるリモートセンシング（RS）情報とグランドトゥルースとしての全天写真画像解析から樹冠粗密度を推定する手法を開発した。また、これを発展させ、人工衛星 RS 情報（Landsat/TM）を用いて任意森林域の樹冠閉塞状態を定量化する方法を開発し、その適用性を検証することができた。

(2) 観測頻度が高い Terra/MODIS による RS データを用いて、植生の季節変動（フェノロジー）に基づく植生タイプ分類手法を提案し、岐阜県を中心とする中部日本域に適用することによって、詳細な植生分布図を作成した。これにより、森林管理状態の面的分布情報を把握できるようになるばかりでなく、蓄積量の分布を推定する際の基本情報とすることも可能になった。

(3) 葉面に付着した水滴が滴り落ちてくる滴下雨と、樹冠内で葉面とぶつからず、林床に直接到達する直達雨などの林内雨の構成を考慮した樹冠遮断モデルを構築し、樹冠による降雨遮断過程を解明した。また、間伐による樹木密度の変化と樹冠による降雨遮断量を関連させた水収支モデルを構築し、間伐による降雨遮断の影響を解析できるようにした。

(4) 上述の樹冠遮断モデルを分布型降雨流出モデルに組み込み、流域全体の有効雨量分布を推定した。観測流量データより得られた各降雨イベントにおける総直接流出量とモデルによって得られた流域全体での総有効雨量との関係を調べた結果、良好な対応結果が得られた。

(5) 岐阜県および長野県における過去 100 年間の気温と降水量に関する日データを統計的に解析した結果、標高が高い山地域ほど気温上昇率が高くなっていることが明らかとなった。また、降水量に対する河川への流出流量の割合が、気温上昇と比例して小さくな

る明瞭な傾向が存在しており、山地森林域での蒸発散量の増大と有効降水量の減少が進行していることが明らかとなった。

(6)岐阜県および長野県における過去 100 年間の日降水量と過去 30 年間の時間降水量のデータに対して極値統計解析を行った結果、短期集中型の降水イベント発生確率が山間地ほど高く、斜面勾配の大きな場所ほどその確率が増大する傾向にあることが明らかとなった。このことは、気候変動による影響は、森林管理の遅れがちな標高が高く急峻な地形に立地した人工林に対してより大きく、その対応策の実施を急がねばならないことが判明した。

(7)間伐実施済林と間伐未実施林での林床土壌の水分会状態を調べたところ、間伐未実施林では、間伐実施済林に比べて降雨時の雨水浸透と排水が早く、その結果として、無降雨時での土壌乾燥化が顕著となることがわかった。また、両者の土壌粒径分析を行った結果、間伐未実施林では、間伐実施済林に比べて、直径 0.1mm 以下の細流土砂成分が少なく、水分保持能力が低くなっていることが明らかになった。溪流中での流出濁質成分を分析したところ、こうした細流土砂成分と一致することも確認できた。このことは、間伐未実施林によって、蒸散量が増大し、その結果として引き起こされる土壌の乾燥と土塊の収縮から土粒子間隙が大きくなることが原因と考えられる。なお、間伐未実施林において間伐を実施した場合、間伐後 1 年以上が経過すると、降雨時の細流土砂成分（濁質）の流出が徐々に抑制されるようになり、これとともに降雨流出応答も緩やかになりつつある。これについては、今後の継続的な観測によってより明確にする必要がある。

(8)間伐実施済林と間伐未実施林での林床土壌中に生息する微生物を蛍光顕微鏡により計数した結果、地表面付近での両者の違いはあまり顕著ではないものの、地表面下 5cm、10cm では、間伐実施済林の方が未実施林よりも多く、3~4 倍程度の生息数となっていることが判明した。このことは、間伐実施済林では、土壌水分が保持されていることと、水分移動が緩やかであることに伴う小さな地温変化幅によって、微生物が生息しやすい土壌環境が形成されていると考えられる。土壌微生物生息数が多いことは、腐植土層の形成とこれに伴う水分量増大に寄与し、降雨流出応答を緩やかにすることになるばかりでなく、森林内の生物生息状況を豊かにすることにもつながると考えられる。

(9)間伐実施済林と間伐未実施林での炭素収支を、樹木の成長量、落葉落枝量（リター量）、土壌呼吸量、切捨間伐木呼吸量および風倒木呼吸量の計測から推定した。樹木 1 本当たりの CO₂ 固定量は、間伐実施済林が未実施林に

比べて大きくなるものの、樹木、リター、土壌を含めた森林生態系全体としての炭素固定量（NEP: Net Ecosystem Production）は、土壌微生物による有機物分解・呼吸作用が間伐実施済林で活発になることにより、間伐未実施と逆転する場合が存在することが明らかになった。

(10)こうした現地観測（比較実験）より、水収支、土砂生産および生物生息状況という環境・防災の面で、間伐による森林管理は大きな効果を発揮するものの、CO₂ 固定については、必ずしも多大な貢献をする訳ではないことが明らかになった。このことは、木材生産、環境保全および CO₂ 削減という森林の持つ 3 つの機能を全て発揮させる森林管理・利用を行うのではなく、林分ごとや地区ごとにこれらの役割を分担させ、地域や流域全体で森林による効果を最大にする仕組みが必要となることがわかった。

(11)木曾川水系長良川流域（岐阜県美濃地方）における森林管理効果を経済影響として評価するため、水環境・流域環境改善による地域経済への影響評価モデルを構築し、その効果分析を行うことができた。

(12)長良川流域における林業の現況を産業構造・生産構造から分析することにより、森林管理システムの現況を明らかにした。また、森林管理による経済影響評価モデルを構築できた。具体的には、森林管理に関わる産業セクターを細分化し、かつ流域上下流間の関係性を捉えるために長良川流域を 6 地域に区分するとともに、長良川流域外の岐阜県を加えた 7 つの地域における経済活動状況および地域間の取引を表現した地域間応用一般均衡モデルを構築した。これにより、森林管理に関する経済活動の影響が当該地域のみならず他地域に波及する過程も評価可能となった。

(13)上述のように構築した経済評価モデルに対して、CO₂ 収支を組み込んだモデルに発展させることにより、森林管理・木材利用による CO₂ 収支・経済影響評価モデルを構築した。このモデルを長良川流域に適用した結果、木材の建設用材への利用に比べ、発電や燃料へ利用する場合には、炭素固定量と社会的純便益が少なくなることが明らかとなった。このことは、森林で生産される木材資源の利用として、長時間にわたり木材を使用し続けることができる方法を優先させ、C 材や D 材などの端材によってエネルギー資源を賄う方が有効になることを示す結果と言える。また、林齢が平準化していない我が国の森林の現状において、森林管理と木材利用を今の方法で継続すると、25 年後には間伐材が枯渇することもシミュレーションから推定され、森林管理そのものの計画を早急に見直す必要があることが判明した。

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5件)

- ① 杉本達哉・高木朗義, CO2 収支量に着目した長良川流域における総合的な森林管理システムの検討, 査読有, Vol. 37, 2009, 201-211.
- ② 杉本達哉・高木朗義, 長良川流域におけるCO2 収支量に着目した総合的な森林管理システム評価モデルの構築, 土木学会地球環境研究論文集, 査読有, Vol. 17, 2009, 103-113.
- ③ T. Kojima, T. Akiyama, S. Shinoda and Y. Moriuchi, The estimation of crown densities with remote sensing data, 第3回水文過程のリモートセンシングとその応用に関するワークショップ論文集, 査読有, 2006, 67-72.
- ④ 西川薫・高木朗義・篠田成郎 他1名, 流域GISを援用した水環境改善施策の総合環境評価モデルの構築, 土木学会土木計画学研究論文集, 査読有, Vol. 23, 2006, 281-289.
- ⑤ 高木朗義・篠田成郎・西川薫 他3名, 流域GISを援用した総合環境評価モデルによる水環境改善施策の効果分析, 土木学会環境システム研究論文集, 査読有, Vol. 34, 2006, 553-561.

[学会発表] (計16件)

- ① 佐藤慶和・高木朗義 他2名, ゲーム理論を用いた地球温暖化抑制行動分析とその促進策, 平成21年度土木学会中部支部研究発表会, 2010.3.1, 金沢工業大学(石川県).
- ② 稲山孝典・高木朗義 他1名, 地球温暖化のための森林管理システムに対する総合評価モデルの開発, 平成21年度土木学会中部支部研究発表会, 2010.3.1, 金沢工業大学(石川県).
- ③ 西山恭平・児島利治・篠田成郎 他4名, 間伐の有無による森林内CO2収支の相違に関する現地調査とその評価, 平成21年度土木学会中部支部研究発表会, 2010.3.1, 金沢工業大学(石川県).
- ④ 鈴木貴幸・渡邊信剛・篠田成郎・児島利治 他1名, 間伐の有無による林床土壌流出及び粒径分布の相違に関する現地観測, 平成21年度土木学会中部支部研究発表会, 2010.3.1, 金沢工業大学(石川県).
- ⑤ 高木朗義・森寛典, 流域治水計画における上下流の関係を考慮した堤防整備の優先順位決定方法, 応用地域学会第23回研究発表大会, 2009.12.12, 山形大学(山形県).

- ⑥ 児島利治・篠田成郎, 林内雨の構成を考慮した樹冠遮断モデルの検討, 水文・水資源学会2009年度大会, 2009.8.20, 石川県文教会館(石川県).
- ⑦ 森寛典・高木朗義, 流域治水計画における上下流の関係を考慮した堤防整備の優先順位決定方法, 第39回土木学会土木計画学研究発表会, 2009.6.13, 徳島大学(徳島県).
- ⑧ 杉本達哉・高木朗義・倉内文孝, 地球温暖化抑止のための長良川流域におけるCO2収支量に着目した森林管理計画の評価, 平成20年度土木学会中部支部研究発表会, 2009.3.3, 名城大学(愛知県).
- ⑨ T. Kojima, Study on hydrological processes at the Daihachigagawa river basin, focused on canopy interception and rainfall runoff simulation, 2nd Int. Sympo. Of 21st Century COE Program "Satellite Ecology", 2008.7.30, Gifu University, Japan.
- ⑩ T. Kojima, Vegetation type classification with MODIS phenology data, 2nd Int. Sympo. Of 21st Century COE Program "Satellite Ecology", 2008.7.31, Gifu University, Japan.
- ⑪ 佐藤慶和・高木朗義, 他者の行動による影響を考慮した自主的CO2削減行動に関する基礎的分析, 土木学会第32回土木計画学研究発表会, 2008.6.6, 北海道大学(北海道).
- ⑫ 杉本達哉・高木朗義, 地球温暖化抑止のための長良川流域における森林管理の評価モデル, 土木学会第36回土木計画学研究発表会, 2007.11.23, 八戸工業大学(青森県).
- ⑬ 児島利治・篠田成郎, 樹冠粗密度と降雨遮断の関係に関する検討, 水文・水資源学会2007年度大会, 2007.7.25, 名古屋大学(愛知県).
- ⑭ 杉本達哉・高木朗義・西川薫, 林業の生産構造からみた長良川流域における森林管理システムの現状評価, 平成18年度土木学会中部支部研究発表会, 2007.3.2, 名古屋工業大学.
- ⑮ T. Kojima, T. Akiyama and M. Maki, The estimation of crown densities with the linear mixel analysis of remote sensing images, 3rd Int. Conf. on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region "Wise Water Resource Management towards Sustainable Growth and Poverty Reduction", 2006.10.17, Bangkok, Thailand.
- ⑯ 児島利治・篠田成郎・守内友香, リモートセンシングデータを用いた樹冠粗密情報の推定, 水文・水資源学会2006年度大会,

2006.8.30, 岡山大学 (岡山県).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

篠田 成郎 (SHINODA SEIROU)

岐阜大学・総合情報メディアセンター・教授

研究者番号：80187369

(2) 研究分担者

高木 朗義 (TAKAGI AKIYOSHI)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：30322134

児島 利治 (KOJIMA TOSHIHARU)

岐阜大学・流域圏科学研究センター・准教授

研究者番号：90346057