

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23580208

研究課題名(和文)人工林における炭素固定能の樹木形質を利用した広域的評価

研究課題名(英文)Regional evaluation of carbon fixation in conifer plantations using tree traits

研究代表者

榎木 勉(Enoki, Tsutomu)

九州大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10305188

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：九州各地のスギならびにヒノキ人工林において、地上部現存量、成長量、リターフォール量を測定し、地上部純一次生産量を推定するとともに、環境条件の違いや樹齢、品種、施業が及ぼす影響を調べた。また、これらの変数と樹木葉の炭素・窒素濃度などの樹木形質との間の相関を検討した。140年生のスギ人工林での純一次生産量は隣接する二次林と同程度であったが、過去の間伐の影響を受けていた。弱、中、強度の3段階の異なる間伐強度の生産量に及ぼす影響は、強度に間伐した場合のみ見られた。スギは品種の影響が大きく、樹高や成長量に30%以上の違いが見られた。また、スギ品種間における成長量と葉の窒素濃度との間の相関が観察された。

研究成果の概要(英文)：Aboveground net primary production of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* plantations were estimated by measuring the biomass, growth and litterfall in the Kyushu Island. Effects of environmental conditions, plantation age, cultivar and forestry operations on the production were investigated. The relationship among above mentioned variables were also analysed. The aboveground net primary production of 140-year-old *C. japonica* plantation was comparable to that of an adjacent secondary forest, though the production was affected by previous thinning. A strong thinning affected the production of *C. japonica* plantation, though there was no difference in the production between medium and light thinning. There were more than 30% differences in tree height and growth of *C. japonica* among cultivars. A correlation was observed between tree growth and leaf nitrogen concentration among the cultivars.

研究分野：森林生態学

キーワード：スギ・ヒノキ 樹木形質 品種 施業 地形 樹齢 気象 母材

1. 研究開始当初の背景

日本では高齢級の人工林面積が年々増加しつつある(林野庁 2010)。これは木材資源の充実化を意味するが、林業が長期的に停滞している状況では、資源の有効の利用を実現することは厳しい。この状況を打破すべく、2009年12月に農林水産省は、「森林・林業再生プラン」を策定し、制度面と実践面の両面から検討している。森林・林業策定プランで掲げている3つの基本理念のうち、特に「森林の有する多面的機能の持続的発揮」と「木材利用・エネルギー利用拡大による森林・林業の低炭素社会への貢献」を実現するための基本的情報としても、森林の生産性の把握は不可欠である。

ここでの「生産」は、単に木材生産のことではなく、森林の一次生産である植物の光合成による炭素同化能を指す。木材資源の利用から広く生態系サービスの持続的享受という観点からも、森林の適切な管理手法の提言のためには、人工林の生産性、炭素固定能の正確な評価は必須課題である。

特に高齢林の生産性の評価は重要課題となる。炭素のシンクかソースかと議論される中、近年では高齢林も炭素のシンクであるという報告が示されるようになってきた(Luyssaert 2008)。しかし、これらの報告は推定方法に依存して結果が変わるなど、まだ不十分な状態である。また、現存量の推定にも再検討が必要とも言われている(Keith 2009)。

これまで、人工林の現存量およびその変化量のデータは全国各地で収集されているが、一次生産力の推定のためのデータは充分とはいえない。炭素収支の推定には、調査プロットを設定し一定期間のサイズ増加量、落葉落枝量、林床での蓄積量などを計測するという多大な時間と労力を必要とする。また、成長速度の減少した高齢林の生産性の測定における精度の維持は容易ではない。1990年度後半から計測されるようになった渦相関法による炭素フラックス測定では、測定可能な場所の制限があることや、コスト面を考えると、日本国中でのデータを収集には課題が多い。森林の生産性を広域的にも評価できる比較的簡易な手法の確立が望まれる。

近年、植物の形質をもとにした生態学的特性の解明が進められている。科学的、構造的、生理学的特性をもとにした葉の経済学的性質に普遍的なスペクトルが存在することが示された(Wright et al 2004)。これは光合成効率の全地球スケールでの変動を示した研究であるが、土地利用や気候変化のもとでの植生の変化のモデル化に役立つと考えられている。この様な植物の形質、主に葉の形質をもとにした生態学的なアプローチを用いた研究は増加している。

樹木の葉と先端の枝(シュート)における窒素やクロロフィル含量などから光合成特性の推定や、リグニン含量などから植食者に

対する防衛能力や林床での分解特性の推定が可能となる。生態系全体での炭素収支を考えると、落葉の分解性や土壌への炭素蓄積様式の理解も重要である(Zhou 2010)。これらの樹木の形質特性と生態学的特性との関係には同一種内の可塑性も影響する(Enoki & Kawaguchi 2000)。本研究ではこれらの関係をスギ・ヒノキ人工林に適用し、生産性ならびに炭素固定能を広域的に評価する。

2. 研究の目的

本研究では、スギおよびヒノキ造林地において、

1) 現存量と成長量とリターフォール量を実測する。

2) スギおよびヒノキの葉およびシュートならびに材サンプルを採集し、樹木形質を測定する。

1) では、まず高齢林の生産性の情報が少ない状況(Enoki et al 2011)に対し、標本数を増やすという意義がある。主に気候による地域差や、微地形、施業履歴などによる変異にも対応した広域的な評価を行うために情報の蓄積は不可欠である。

2) では、1) で得られたデータと合わせて解析することで、樹木形質から人工林の生産性および炭素固定能を定式化するモデルを作成することを目的とする。また、2) では生産性の測定は実施していないが他の情報を有する既存の調査地においても行う。この結果から新たに1)を実施する調査地を選定するという役割もある。

以上の調査は九州地域のスギ・ヒノキ人工林で実施する。200から300点程度をサンプリングポイントとして予定しているが、限られた時間と労力では調査範囲と精度はトレードオフの関係になると考える。日本全土で実施する前に、研究結果についても精査可能な範囲として、現時点で申請者と連携研究者が種々の情報を相互的に有している九州地域で行ない、その成果をもとに、次の段階でさらに広域に適用する形をとりたい。緯度、高度スケールよりも細かいスケールでの評価を行うためにも、一部地域に限定する意義はあると考える。

3. 研究の方法

九州各地の人工林に設定されている既存プロットおよび新規に設定するプロットで地上部構造および現存量を測定する。重点的な調査を行うコアプロットでは、リターフォール量の測定、デンドロメーターによる肥大成長測定、林床の有機物蓄積量の測定を行う。九州地域における人工林で実施されている研究の情報や施業の情報を収集し、新規のプロット設定やサンプリングポイントの設定に利用する。葉と材のサンプリングを行ない、

採取した針葉は葉面積(投影面積)、葉重量、炭素・窒素含有量を測定する。材サンプルからは成長パターンの解析と材比重の測定を行う。葉と材のサンプルおよびそれらの画像データはインベントリー化する。人工林の生産性と炭素固定能を目的変数とし、各種樹木形質、樹種、品種、気温、降水量、微地形(起伏、傾斜、方位)、樹齢、施業履歴、地上部構造を説明変数としたモデルを作成する。

4. 研究成果

(1) 九州大学福岡演習林におけるスギ人工林の二次林化が物質循環に及ぼす影響

福岡県久山町に位置する九州大学福岡演習林の約140年生のスギ人工林と、この造林が不成功に終わり天然更新した広葉樹が優占する二次林において、地上部一次生産量とリターフォールによる窒素還元量を比較し、スギ人工林の二次林化が物質循環に及ぼす影響を検討した。

両林地に30×60mのプロットを設置し10×10mのセル単位で毎木調査とリターフォール量およびリターフォール中の窒素濃度の測定を行った。

人工林と二次林の地上部現存量に有意な差はなかった。人工林には強度の間伐が施され、立木密度が194本/ha低く、地上部現存量のプロット内でのばらつきが大きかった。人工林のリターフォール量は二次林よりも多かった。人工林では、立木密度が低く、枝条が大きく広がっていることが原因の一つと考えられた。地上部現存量の変化はプロット間では有意な差はなかった。二次林では調査期間中に死亡した個体が散在しており、現存量の変化量のプロット内のばらつきが大きくなった。二次林では所々に生じた土砂崩れや冠雪による幹折れなどの攪乱が主要な死亡要因であった。単位バイオマスあたりの成長量、リターフォール量はプロット間での違いはなかった。

リターフォール中の窒素濃度はプロット間で有意な差はなかったが、二次林内での空間的なばらつきが大きかった。二次林では主に地形に対応して種が分布しているため、種による利用特性の違いが影響したと考えられた。スギのリターフォールは、二次林の窒素濃度がスギ林よりも低くかった。二次林のスギの樹高は人工林と比較して低く、土壌中の水分や窒素利用可能量が少ないことが理由の一つかもしれない。二次林のスギの樹冠は他樹種と比較して低いものも多く見られた。スギのリターフォール中の窒素濃度が二次林で低いのは、二次林では天然更新した広葉樹との間に、地上部での光獲得競争や土壌での窒素獲得競争などが生じたことによる可能性もある。しかし、成長量、生産量やリターフォールによる窒素還元量にプロット間で差がないことから、土壌の貧栄養は造林が不成功に終わった原因ではないと考えら

れた。

(2) 蛇紋岩上に植林されたヒノキ林の炭素固定に及ぼす地形の影響

福岡県篠栗町に位置する九州大学福岡演習林の約50年生のヒノキ人工林において、地上部一次生産量とリターフォールによる窒素還元量の地形による違いを測定した。

ヒノキが植栽された蛇紋岩を母材とする流域の上流、中流、下流域の川岸、左岸斜面、右岸斜面に合計27個の10×10mの調査プロットを設置した。プロット内では毎木調査とリターフォール量およびリターフォール中ならびに生葉中の窒素濃度の測定を行った。

ヒノキのバイオマスならびに成長量は斜面の凹凸と相関があり、凹状地で大きくなる傾向があった。ヒノキのリターフォール中の窒素含有量も凹状地で多かった。しかし、ヒノキの成長量とリターフォール中の窒素含有量との間に有意な関係は見られなかった。これまでの研究で蛇紋岩を母材とする林分ではリン不足が指摘されており、本調査地では樹木の成長や炭素固定には窒素ではなくリンによる制限が働いている可能性が示唆された。

ヒノキ生葉の窒素濃度の地形による違いはリターフォールのそれと同様のパターンを示した。生葉とリターフォールの窒素濃度の違いから推定した窒素の引き戻し(resorption)とヒノキのバイオマスや成長量との間に明瞭な関係は見られなかった。窒素の引き戻しは生葉の窒素濃度と有意な相関があった。

(3) 間伐強度の違いが高齢スギ人工林の地上部純一次生産量に及ぼす影響

スギの高齢林分に実施した間伐の効果을明らかにするために、間伐強度の異なる林分において直径成長量およびリターフォール量を測定し、地上部純一次生産量を比較検討した。

調査は大分県玖珠郡九重町に位置する九州電力社有林15林班に設定された平家山スギ参考林(1922年植栽、2.03ha)で行った。1998年に弱度区(Sr=14.9%)、中度区(Sr=16.4%)、強度区(Sr=18.4%)の3つの間伐強度の異なる試験区(それぞれ50×50m)が設定された。2012年10月にスギの胸高直径と樹高を測定した。胸高直径は2013年、2014年度にも再測した。成長量はデンドロメータを、リターフォール量はリタートラップを設置して測定した。成長量とリターフォール量の和を地上部純一次生産量とした。

各調査区のバイオマスに有意な差はなかったが、強度区内での空間的なばらつきが大きかった。成長量も同様の傾向があった。リターフォール量は強度区でやや多かったが、間伐強度による有意な違いは見られなかった。バイオマスあたりの値では、成長量、リターフォール量とも弱度区で小さかった。ま

た、繁殖器官のリターフォール量は強度間伐区で多かった。

(4) スギの品種による炭素固定能の違い

鹿児島県垂水市に位置する鹿児島大学高隈演習林内に設置されたスギ品種試験地には様々な品種が45年前に植栽されている。そのうち第3試験地と第4試験地には12品種が30本ずつ植栽された方形区が5つの繰り返しを有する形で設定されている(木梨ら1973)。植栽されている品種は以下のとおりである:クモトオシ、ヤイチ、オビアカ、ヤブクグリ、メアサ、アヤスギ、キジン、アオシマアラカワ、ヒノデ、イワオ、ウラセバルスギ、アカバ。各方形区で毎木調査ならびにスギリターの採取を実施し、スギリターについては炭素・窒素濃度を測定した。

樹高は品種により大きく異なり、最も低いヤブクグリが14.7m、最も高いキジンが20.4mであった。枝下高はヤブクグリが最も低く10.3m、アオシマアラカワが最も高く15.4mであった。樹高の高い品種は残存率が低い傾向があった。

スギリターの窒素濃度も品種により大きく異なり、最も低いヒノデが0.53%、最も高いアヤスギが0.83%であった。リターの窒素濃度と樹高および枝下高には有意な負の相関が見られた。

<引用文献>

- Enoki & Kawaguchi. 2000. Initial nitrogen content and topographic moisture effects on the decomposition of pine needles. *Ecological Research* 15: 425-434
- Kieth et al. 2009. Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests. *PNAS* 106: 11635-11640
- 木梨謙吉ら. 1973. 九州産スギ品種の特性に関する実験統計学的研究. 九州大学農学部演習林報告. 47: 21-76
- Luyssaert et al. 2008. Old-growth forests as global carbon sink. *Nature* 455: 213-215
- 林野庁. 2010. 平成22年度森林・林業白書
- Wright et al. 2004. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature* 428: 821-827
- Zhou et al. 2006. Old-growth forests can accumulate carbon in soils. *Science* 314: 1417

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 1 件)

- 1) Enoki T, Inoue T, Tashiro N, Ishii H. 2011. Aboveground productivity of an unsuccessful 140-year-old *Cryptomeria japonica* plantation in northern Kyushu, Japan. *Journal of Forest Research* 16: 268-274.

[学会発表](計 3 件)

- 1) 榎木勉. 2013. 140年生スギ造林地の地上部純一次生産量-天然更新した広葉樹が優占する不成績造林地との比較-. 日本森林学会第124回大会. 岩手大学. 2013年3月
- 2) 榎木勉. 2013. 九州大学福岡演習林におけるスギ人工林の二次林化が物質循環に及ぼす影響. 日本生態学会第61回. 大会広島国際会議場. 2014年3月
- 3) 榎木勉, 古賀信也, 菱拓雄, 内海泰弘, 溝上展也, 吉田茂二郎. 2014. 間伐強度の違いが高齢スギ人工林の地上部純一次生産量に及ぼす影響. 日本森林学会第125回大会. 大宮ソニックシティ. 2014年3月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

榎木 勉 (ENOKI, Tsutomu)
九州大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号: 10305188

(2) 連携研究者

溝上展也 (MIZOUE, Nobuya)
九州大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号: 00274522

(3) 連携研究者

高木正博 (TAKAGI, Masahiro)
宮崎大学・農学部・准教授
研究者番号: 70315375

(4) 連携研究者

館野隆之輔 (MIZOUE, Nobuya)
鹿児島大学・農学部・准教授
研究者番号: 60390712