

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03838

研究課題名(和文)パレオフォレストリーに基づく日本海地域のスギの成立および変遷要因の解明

研究課題名(英文) Investigation of the formation and change of Japanese cedar in the Sea of Japan region based on methods of paleoecology

研究代表者

志知 幸治 (Shichi, Koji)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：10353715

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：北陸地方から東北地方北部に分布するスギ林を対象に、花粉、磁化、DNA、歴史史料およびGISを用いた分析を組み合わせて、過去のスギ林の拡大および縮小に及ぼした気候変動と人間活動の影響を総合的に明らかにした。その結果、過去1万年以前には氷期における寒冷化によってスギの集団サイズは減少したことが明らかになった。過去1万年間では、東北地方および北陸地方の各地に残存していたスギの小集団が温暖化によって徐々に増加し、約2500年前頃から急速に拡大した。また、秋田県北部地域では、木材利用増加のため室町時代以降よりスギは減少し、鉱業衰退後の植林により明治時代以降にスギが増加したことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

過去1万年以前以前の寒冷化によりスギの集団サイズが減少したこと、残存したスギの小集団が温暖化により徐々に増加し、約2500年前以降に急激に拡大したこと、および室町時代以降の木材利用増加に伴いスギが減少し、明治時代以降の植林活動の活発化によりスギが増加したことなど、複数の自然科学的および社会科学的手法を組み合わせることによって過去長期間のスギの動態を明らかにすることができた。これらは学術的に貴重な発見であり、将来の気候変動に対するスギの分布予測に活用することができる。また、本研究において提唱したパレオフォレストリー研究の有効性を示すことができたと考えている。

研究成果の概要(英文)：We clarified the climate and human influence on the past expansion and reduction of *Cryptomeria japonica* forests which are distributed from the northern Tohoku to Hokuriku regions based on analyses using pollen, magnetometry, DNA, historical document, and GIS. As a result, the population size of *C. japonica* in the regions decreased by cooling since the last glacial period. The small population of *C. japonica* which survived in the regions until the end of glacial period gradually increased. *C. japonica* rapidly expanded since about 2500 years BP. *C. japonica* forests decreased by use of the wood after the 15th century and increased by afforestation after the late 19th century when the mining industry declined in the northern Akita region.

研究分野：森林科学

キーワード：スギ 日本海北部地域 花粉分析 DNA分析 分布適域モデル 歴史史料解析 林相図 磁化分析

1. 研究開始当初の背景

気候変動によって森林が今後、どのように変化していくか明らかにすることは持続的な森林管理を進めるうえで重要な課題である。その解決策の一つとして、花粉分析や DNA 分析などを用いた、過去を対象とした森林の分布拡大・縮小に関する変遷の推定が行われてきた。しかし、こうした研究は分析試料を得られる地点が限定されることや、復元された森林の分布変遷は推定に留まることなど、その確からしさを評価するための検討が必要となる。また、有史以降の森林変遷の要因を明らかにするためには過去の人為影響の評価が必須であり、林業史的な視点からの研究も必要になる。つまり、高精度な森林変遷研究を進めるためには、複数の研究手法を組み合わせることが必要不可欠である。

スギは林業的に重要な樹種の一つであるため、将来の気候変動の影響を詳細に解明する必要がある。これまでの森林変遷研究から、日本海北部地域の秋田周辺では約 3000 年前に広く拡大していた天然スギは、約 1000 年前以降の人間活動の影響を反映して現在では限られた分布となったことが明らかにされている。日本海北部地域のスギ拡大に関して、完新世の温暖化に伴う南方(若狭湾)からの移動によるとされる従来の説(塚田 1980 など)に対して否定的な報告が近年なされるようになってきた。しかし、どのような拡大過程を経て現在の分布となったのかについて、まだ詳細には明らかにされていない。また、スギ縮小の要因となった人為影響に関して、人為が生じた時期およびその要因についての詳細な検討は行われていない。

2. 研究の目的

花粉分析、DNA 分析、分布適域モデル、磁化分析、歴史史料解析、GIS 手法を組み合わせた過去を対象とした分野横断型の森林研究(パレオフォレストリーと命名)を展開し、日本海北部地域のスギ林の成立・変遷過程およびそれが生じた環境要因を明らかにすることを目的とする。特に、気候変動がスギの拡大に及ぼした影響および人間活動が近世以降のスギの縮小に及ぼした影響を総合的に明らかにし、人間活動を含めた環境変動によって今後どのようにスギが変遷していくか予測するための知見を提供する。さらに、森林研究において、自然科学および社会科学的研究分野を融合したパレオフォレストリーという新しい研究分野の確立に資する。

3. 研究の方法

本研究では、(1)完新世以降におけるスギ拡大過程と気候要因の解明、および(2)江戸時代以降のスギ消長に及ぼした人為影響の解明、の2つの課題を設定して実施する。課題(1)では、若狭湾から東北地方北部日本海側までの間の堆積物試料の花粉分析、全国各地に現存するスギ天然集団の DNA 分析、および、スギの分布適域モデルに基づいてスギの消長と要因の解明を行う。課題(2)では、先進的な森林管理が行われてきた秋田地域において、森林に関する歴史史料の収集・解析および湖沼堆積物中の花粉分析に基づいて、江戸時代以降のスギの消長とそれに及ぼした人為的要因の解明を進める。

(1)完新世以降におけるスギ拡大過程と気候要因の解明

若狭湾周辺から東北地方北部に至る地域のうち、これまでに花粉分析が行われていない地点を対象に堆積物試料を採取する。採取試料の磁化測定から堆積物の性質を明らかにし、放射性炭素年代測定およびテフラ分析から堆積物の年代値を決定した上で花粉分析を行う。既往の花粉分析データベース(Ooi 2016)に、本研究で新たに得られたデータを加えて、日本海北部地域の過去1万年間のスギの変遷過程を明らかにし、変遷に影響を及ぼした気候要因を推定する。

既報の17座の葉緑体 SSR プライマーを用いて多型解析を行い、必要に応じて葉緑体プライマーを設計する。設計したプライマーのスクリーニングを行い、多型が認められた10座程度をマーカー化する。そのマーカーを用いて全国37集団の多型解析を行う。12座の葉緑体 SSR 遺伝子座について、ハプロタイプを決定する。全国に分布するスギ天然林の一部の集団を用いて、核ゲノム全体を対象とした制限酵素断片配列の網羅的解析を行う。これらの解析結果から、現存するスギ天然林集団の特色および最終氷期以降のスギの動態を明らかにする。

最終氷期以降のスギ分布適域モデルを および の結果も考慮して構築し、出力結果からスギの動態とそれに及ぼした気候変動の影響を確認する。

(2)江戸時代以降のスギ消長に及ぼした人為影響の解明

秋田県北部地域周辺を対象に、江戸時代以降の森林変遷に関連する絵図、文献史料、施業図の収集と解析を行う。特に、正保国絵図等の絵図の解析を行い、江戸時代における土地利用変化を明らかにする。また、17~19世紀の森林利用に関わる文献史料を分析し、阿仁川流域におけるスギの分布変化に及ぼした要因を明らかにする。さらに、秋田県旧荒瀬村の国有林を対象に、旧計画図等を用いて施業案作成時の森林資源の経年変化を明らかにし、立地要因との関係を解析する。

秋田県北秋田市の阿仁地域において湖沼堆積物を採取し、放射性炭素および鉛測定により高精度な年代推定を行う。また、採取試料の花粉および微粒炭分析を行い、過去のスギの変遷と火事の影響を明らかにする。これらの分析結果を の歴史史料の解析結果と比較し、スギの変遷に影響を及ぼした人為的要因を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 完新世以降におけるスギ拡大過程と気候要因の解明

青森県、秋田県、山形県、福島県、新潟県および富山県において新たに堆積物試料を採取し、採取試料の磁化分析、年代測定、および花粉分析を行った。磁化分析の結果、帯磁率は泥炭などの有機物を多く含む層準で低く、砂などの有機物の少ない層準では高かった。帯磁率の変化は堆積物の性状をよく反映しており、花粉分析を効率的に進めるための指標としても活用できた。花粉分析の結果から、日本海北部地域の多くの地点で完新世初頭からわずかながらスギは分布していたこと、約 2500 年前以降にスギが急激に拡大したことが明らかになった。本研究で得られたデータを花粉分析データベース (Ooi 2016) に加えて、日本海北部地域における完新世以降のスギの変遷過程について図示した結果、これまで東北地方北部のスギの起源とされてきた若狭湾周辺のみでなく、秋田県の男鹿地域や富山県の立山地域周辺など、9000 年前からスギ花粉が 5% 以上産出する地域が複数見出された (図 1)。これらの地域では、少なくとも完新世初頭にはある程度の集団でスギが存在していたと推定されることから、完新世に若狭湾からの東北地方北部へとスギが移動したとする説を否定する結果が示された。スギ花粉産出割合の変化から、最終氷期末期まで各地に残存していたスギの小集団が完新世の温暖化に伴って徐々に拡大していった様子が確認できた。

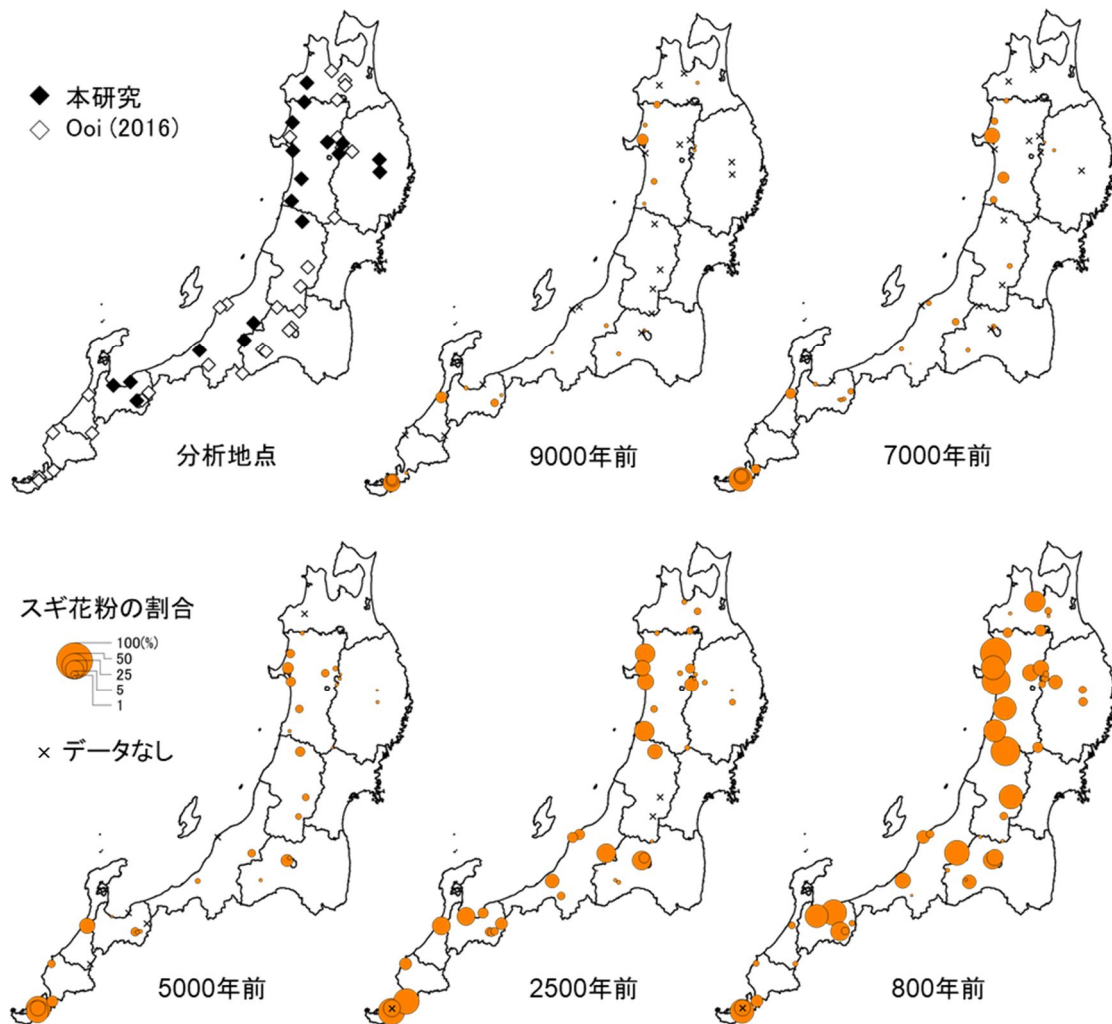


図 1. 北陸地方から東北地方北部日本海側における完新世以降のスギ花粉の産出割合の変化

全国のスギ天然林 38 集団、各 8 個体について、17 座の葉緑体 SSR プライマーの多型情報を取得し、スギの全葉緑体配列から新たに 20 座の SSR プライマーを設計した。ついで、スギ天然林 34 集団、計 1057 個体を対象に、葉緑体 SSR10 座について解析を行ったところ、66 のハプロタイプが検出されたが、地理的な傾向は認められなかった。そこで、スギの全葉緑体配列から新たに 23 座の SNP マーカーを設計して解析を行った結果、多型性の認められた 10 座の情報から 15 のハプロタイプが検出された。集団を北日本、日本海、太平洋、屋久島および混在の遺伝グループに分けてハプロタイプの頻度を調べたところ、北日本と屋久島グループでそれぞれ 3 つの特有のハプロタイプが検出され、地域性を反映することが強く示唆された (表 1)。一方、全国のスギ天然林を対象にした制限酵素断片配列の網羅的解析により約 7000 座の一塩基多型 (SNP) 情報を取得した。得られた DNA 多型情報を用いた動態推定の結果から、日本海側のスギの有効集団サイズは、最終氷期以降、現在まで減少を続けていることが明らかとなった。また、いずれの

集団も最終氷期の初期～中期（9～4万年前）と最終氷期最盛期前後（3～2万年前）において、有効集団サイズの減少イベントを経験したと推定された（図2）。有効集団サイズが最も高く維持されていたのは氷期の大規模逃避地に近い芦生の集団であった。

表1. 各遺伝グループにおける SNP マーカー10 座による葉緑体ハプロタイプ数

遺伝グループ	集団数	個体数	ハプロタイプ数	グループ特有ハプロタイプ数
北日本	10	81	13	3
日本海	2	24	10	-
太平洋	10	76	12	-
屋久島	4	20	12	3
混在	7	75	9	-
合計	34	1057	15	-

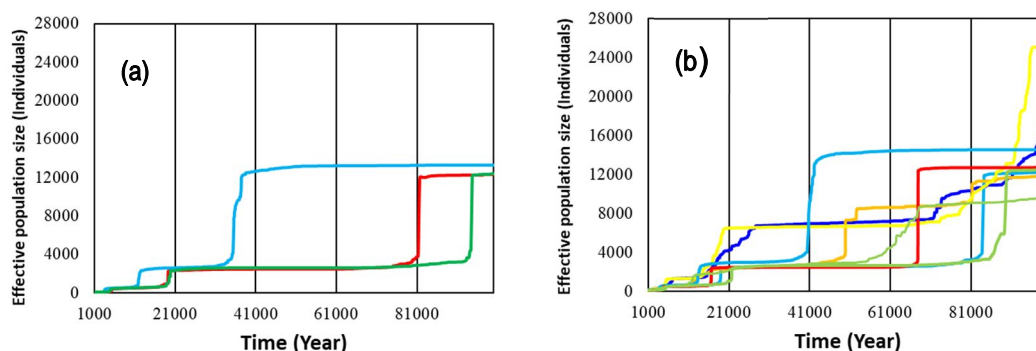


図2. 日本海側のスギ天然林の過去の有効集団サイズの変動 (a)北東北日本海側、(b)日本海側

最終氷期以降まで拡張したスギの分布適域モデルから、最終氷期最盛期の寒冷化によってスギの潜在生育域は縮小し、完新世以降の温暖化および湿潤化によって潜在生育域は拡大する様子が再現された。これは、花粉および DNA 分析によるスギ動態の解析とよく対応した結果であった。

(2)江戸時代以降のスギ消長に及ぼした人為影響の解明

絵図の解析から、阿仁や大葛などの鉱山周辺では江戸初期には森林伐採が進んで薪炭林になっていたこと、江戸後期には現在よりもスギの面積は小さく、集落や鉱山周辺では薪炭林（落葉広葉樹）や草山が多かったことを明らかにした。江戸初期に作成された正保国絵図の描写や正保郷帳の記載に基づき秋田地域の山地植生を把握できるか検討し、藩ごとに山柄の記載が異なっているものの、絵図の描写と郷帳の記載はある程度一致していることが確認できた。阿仁川流域では、17 世紀後半から阿仁鉱山の開発が積極的に進められ、製錬用の木炭・薪需要が急増した。これにより阿仁鉱山周辺では、針葉樹よりも落葉広葉樹を優先した森林管理がみられるようになった。19 世紀後半に作成された官林の台帳によると、特に阿仁鉱山周辺ではブナやナラの分布が卓越し、スギは少なかった。こうした分布は、17 世紀以降におけるスギの積極的な伐採に加え、鉱山開発と連動した木炭・薪生産の興隆と、それに対応した落葉広葉樹優先の森林管理の結果であると考えられた。旧荒瀬村の国有林における昭和初期以降から約 90 年間の林相変化を復元し、昭和初期には 1 割ほどであったスギ林面積が 3 割まで増加したことが明らかになった。また、国有林の経営方針の変化が人工林の転換に反映されているかどうか、5 期に分け地理要因との関係解析を行った結果、拡大期（1929～1962）と縮小期（1982～1998）には標高、傾斜、道路からの距離に関して有意な違いがみられた。しかし、それ以外の期間では統計的に有意な違いは認められなかった。

阿仁地域のつづ沼から採取した堆積物の花粉分析を行い、周辺地域の植生変遷を復元した（図3）。その結果、室町時代の 15 世紀からスギが減少したこと、18 世紀からブナが減少し、草本類および火事の増加を示す微粒炭量が増加したこと、19 世紀後半からスギが増加したことが示された。歴史史料による解析結果との比較から、室町時代のスギの減少は木材利用の増加により生じたと考えられた。また、18 世紀以降のブナの減少およびスギの増加時期は、つづ沼から約 15km 北西に位置する阿仁銅山が最盛期となった時期および衰退した時期と対応していた。1900 年代のスギ花粉の増加は、林相図の解析結果から算出した針葉樹人工林割合の変化とよく対応していた。

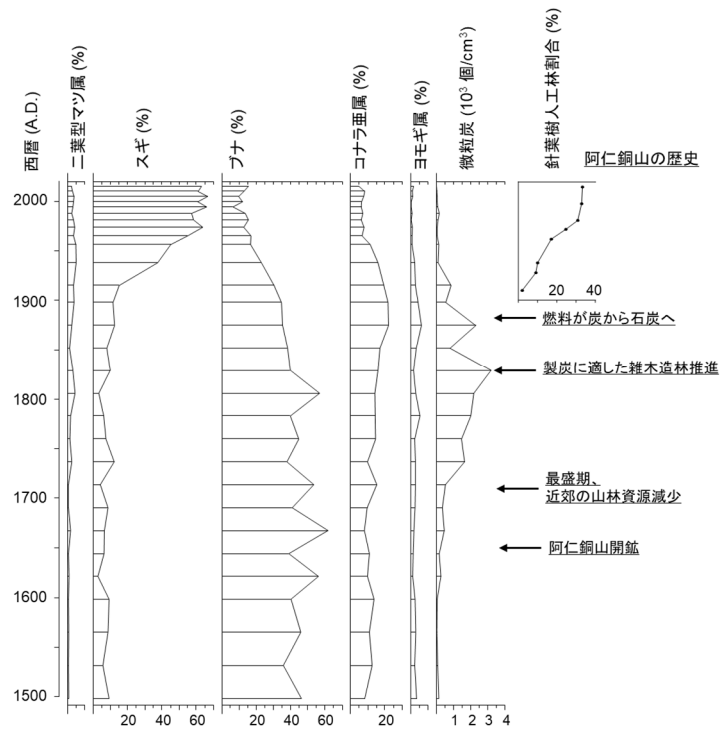


図 3 . つぶ沼周辺の過去 500 年間の植生変遷と秋田県旧荒瀬村国有林における針葉樹人工林面積の推移および阿仁銅山に関する文献史料との対比

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 池田重人、志知幸治、岡本透、林竜馬	4. 巻 64
2. 論文標題 鳥海山麓の桑ノ木台湿原周辺における晩氷期以降の植生変遷と「鳥海ムラスギ」の消長	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本花粉学会会誌	6. 最初と最後の頁 39-53
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 志知幸治、内山隆、池田重人、江上邦博	4. 巻 66
2. 論文標題 栃木県南部益子地域における過去1400年間の植生変遷と人間活動の影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本花粉学会会誌	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 志知幸治、池田重人、岡本透、芳賀和樹、宮本麻子、落合伸也
2. 発表標題 花粉分析と歴史史料に基づく江戸時代以降のスギ林変遷と人為影響
3. 学会等名 日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田重人、志知幸治、岡本透
2. 発表標題 花粉分析からみた最終氷期以降のスギの分布変遷
3. 学会等名 日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡本透、志知幸治、池田重人
2. 発表標題 絵図から読み解く近年のスギの分布変化
3. 学会等名 日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村恵、内山憲太郎、上野真義、中尾勝洋、津村義彦
2. 発表標題 遺伝解析と分布予測モデルからみた最終氷期以降のスギの分布変遷
3. 学会等名 日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内山憲太郎、中尾勝洋、津村義彦、木村恵、上野真義
2. 発表標題 スギの遺伝的分化と環境への適応
3. 学会等名 日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 芳賀和樹
2. 発表標題 17～19世紀の森林利用とスギの分布への影響
3. 学会等名 日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮本麻子、芳賀和樹、岡本透
2. 発表標題 施業図解析等に基づく昭和以降のスギ資源量の変化
3. 学会等名 日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 志知幸治、酒井英男、卜部厚志
2. 発表標題 魚津埋没林堆積物の花粉組成
3. 学会等名 第32回日本植生史学会大会講演要旨集
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	酒井 英男 (SAKAI Hideo) (30134993)	富山大学・大学院理工学研究部(理学)・名誉教授 (13201)	
研究分担者	芳賀 和樹 (HAGA Kazuki) (00566523)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・特任助教 (12601)	
研究分担者	岡本 透 (OKAMOTO Toru) (40353627)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	内山 憲太郎 (UCHIYAMA Kentaro) (40501937)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	
研究 分担者	宮本 麻子 (MIYAMOTO Asako) (50353876)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	
研究 協力者	上野 真義 (UENO Saneyoshi)		
研究 協力者	木村 恵 (KIMURA Megumi)		
研究 協力者	中尾 勝洋 (NAKAO Kastuhiro)		
研究 協力者	池田 重人 (IKADA Shigeto)		