

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：32607

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22510016

研究課題名（和文） 複層林化の窒素・炭素循環に対する影響に関する研究

研究課題名（英文） Effects of multi-storied plantation on nitrogen and carbon cycle

研究代表者

馬場 光久 (BABA MITSUHISA)

北里大学・獣医学部・准教授

研究者番号：70286368

研究成果の概要(和文):長伐期施業の進められているスギ林およびスギーヒノキアスナロ(ヒバ)林において窒素無機化量および窒素収支を中心に評価した。窒素無機化量に有意差は認められなかったが、窒素移動量はスギ林区に比べてスギーヒバ林区において減少した。表層だけでなく、下層においても窒素移動量が減少していたことから、複層林にした初期段階においては、下層植生に加えて植栽したヒバが窒素溶脱量の低減に寄与していると考えられた。

研究成果の概要(英文): We aimed to elucidate effects of the multiple-storied plantation management on nitrogen (N) dynamics based on comparing N mineralization and budgets in multiple-storied stand of *Cryptomeria japonica* and *Thujopsis dolabrata* var. *hondai* with those in simple-storied stand of *Cryptomeria japonica*. There was no significant difference in mineralized N amounts. On the other hand, N leaching remarkably decreased not only in surface horizon but also in subsurface horizon of multiple-storied stand. This suggested that saplings of *Thujopsis dolabrata* var. *hondai* contributed to minimizing N leaching.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：物質循環

1. 研究開始当初の背景

窒素化合物の排出量の増加が予測されており、これにより森林生態系における窒素飽和が誘発されることが懸念されている。窒素飽和は土壌酸性化や森林衰退の原因となるため、窒素飽和にならないような森林生態系の管理が必要である。この管理のためにも、現在人工林において進められている長伐期施業の窒素動態に対する影響を明らかにす

ることが必要である。

長伐期一斉更新施業が行われている林分では広葉樹林と同様に下層植生が発達しており、これがNO₃溶脱の抑制に寄与している(Baba et al., 2012)。長伐期施業の一つである複層林施業の行われている林分では、上層木の本数密度を下げ植栽された苗木が下層植生と同様に窒素を吸収することでNO₃溶脱を抑制することが考えられる。しかし、

複層林施業を行っている林分での物質収支に関する研究は十分とは言えない。

2. 研究の目的

スギを上層木とし、下層にヒノキアスナロ（以下、「ヒバ」とする）を植栽した複層林施業が行われている試験地における窒素収支を長伐期一斉更新施業が行われているスギ人工林における窒素収支と比較することで、a) 大気由来の窒素沈着の窒素循環に対する影響を明らかにする、b) ヒバを含めた下層植生の物質循環における役割を明らかにすることを本研究の目的とした。

また、上層木の本数密度が異なることから、温度や水分などの環境の相違により窒素無機化量が異なると予測し、これを検証した。

3. 研究の方法

(1) 試験地概要

青森県七戸町萩ノ沢にある54年生（2010年現在）のスギ林とこれに隣接したスギーヒバ林を試験対象地として選定した。スギ林の本数密度は1haあたり850本である。スギーヒバ林はスギが1haあたり125本まで間伐され、2002年にヒバが1haあたり1400本植栽されている。スギ林、スギーヒバ林に20m×20mの試験区を設定した（以下それぞれ「スギ林区」、「スギーヒバ林区」とする）。

(2) 物質移動量

スギ林区においてスギの林冠を通過した林内雨、スギの林冠および下層植生の枝葉を通過した下層植生通過雨を3反復で採取した。スギーヒバ林区では、ヒバの枝葉が地際近くまであるため、0層の上にパンライシメーターを2反復設置して林内雨を採取した。加えて、林冠と接触しない林外雨を2反復で採取した。

スギ林区、スギーヒバ林区の深さ0cm（0層直下）、10cmにテンションフリーライシメーターとしてパンライシメーターを3反復で埋設し、土壤浸透水を採取した。また、深さ90cmにポーラスプレートテンションライシメーターを2反復埋設した。さらに、深さ50cmにポーラスカップテンションライシメーターを2反復埋設した。ただし、ポーラスカップテンションライシメーター法では浸透水量を求められないので、深さ50cmの浸透水量は深さ90cmの値を用いた。浸透水量は採水量を採取器具の断面積で除して求めた。

雨水、土壤浸透水は半月に1回（1月から3月の積雪期は月に1回）回収し、分析に供した。pHはガラス電極法で、主要無機イオン濃度はイオンクロマトグラフ法（Shimadzu LC10A）で、全窒素（TN）濃度を熱分解法（全有機体炭素計（Shimadzu

TOC-V）に接続したTNM-1ユニット）により測定した。溶存有機態窒素（DON）濃度は、測定したTN濃度からイオンクロマトグラフ法で定量した無機態窒素（DIN）濃度を差し引いて算出した。燃烧酸化-赤外吸収法（全有機体炭素計；Shimadzu TOC-V）を用いて非揮発性有機炭素（NPOC）を測定し、これを溶存有機態炭素（DOC）とした。ケイ酸（SiO₂）はモリブデン青法（オートアナライザー：BL-TEC SWAAT）により定量した。定量した濃度に採水量をかけ合わせて単位面積当たりの物質移動量を求めた。

(3) 窒素無機化量

スギ林区、スギーヒバ林区にレジンコアを3反復で埋設し、2012年6月までは1ヶ月間（積雪期は回収できなかったため、6ヶ月間）培養した。また、レジンコアを埋設する際に培養前の土壤を3反復で採取した。

土壤中の無機態窒素は2Mの塩化カリウム（KCl）溶液で、イオン交換樹脂（IER）は1MKCl溶液で抽出した。抽出液中のアンモニ態窒素（NH₄-N）はインドフェノール青法により、硝酸態窒素（NO₃-N）はヒドラジン還元法により亜硝酸態窒素に還元してジアゾカップリング法で発色させ、吸光光度法により定量した（林ら、1997）。

培養後の土壤中の無機態窒素量から培養前の土壤中の無機態窒素量を差し引いて窒素変化量を求めた。また、レジンコアの下部のIERに捕集された無機態窒素は培養期間中に無機化されて溶脱したものであるため、この溶脱量に窒素変化量を加えて窒素無機化量とした。

培養前土壤は、粗大有機物をハンドソートで除去し、一部を通風乾燥器にて105℃で24時間乾燥させ、含水率を測定した。次に、乾土5g相当の新鮮土を秤取り、乾土と水分の比率が1:5となるように脱イオン水を加え、ガラス電極法により土壤pHを測定した。

地温は、スギ林区では超小型水温計測ロガー（Onset ストアウェイティットビット TBI32-20+50）を、スギーヒバ林区ではサーモレコーダーミニワイヤレス（espec RTW-30S）を、それぞれ深さ0cmと10cmに埋設して3時間ごとに測定した。

直径2mm未満の根（以下、細根とする）は上述の培養前土壤から除去した粗大有機物を目開き2mmの篩に載せ、付着している土壤を水で洗い流し、篩上に残ったものからハンドソートにより分別した。

(4) 土壤ガスフラックス

二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）、亜酸化窒素（N₂O）ガスはクロードチャンバー法により採取した。CO₂、CH₄はTCD付ガスクロマトグラフ（Agilent Technologies

6890N) により、 N_2O は ECD 付ガスクロマトグラフにより定量し、ガスフラックスを求めた。

4. 研究成果

(1) 雨量・浸透水量

2011 年における降水量および土壌浸透水量を図 1 および図 2 に示した。スギーヒバ林区における年間林内雨量は 1240mm と、スギ林区における下層植生通過雨の年間雨量である 795mm の 1.5 倍であった。これは、スギーヒバ林区のスギの本数密度が少なくなったためと考えられた。しかし、スギーヒバ林区における林内雨量は減少傾向が認められ (図 3)、ヒバの生長に伴って樹冠遮断量が増大したと推察された。今後、樹幹流も採取してヒバの生長に伴う樹冠遮断量の変化について検討する必要があると考えられた。

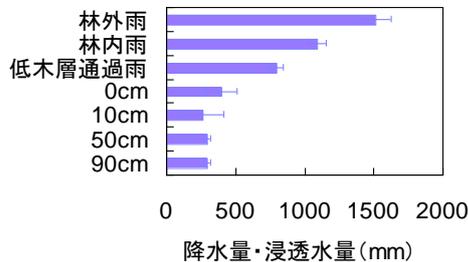


図 1: スギ林区の年間降水量および浸透水量

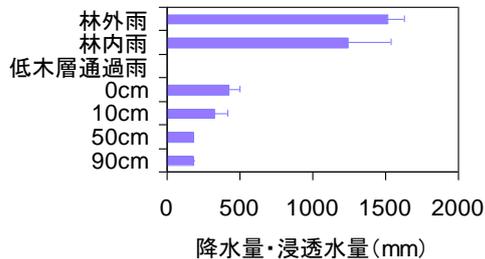


図 2: スギーヒバ林区の年間降水量および浸透水量

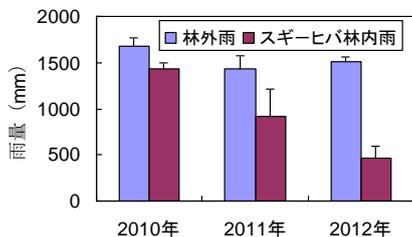


図 3: スギーヒバ林における林内雨量の変化

深さ 0cm における土壌浸透水量はスギーヒバ林区において 428mm、スギ林区において 396mm と雨水ほど顕著な違いは無かった。また、深さ 10cm においてもスギーヒバ林区において 325mm と、スギ林区の 259mm に比べて多かったが、深さ 90cm においてはス

ギーヒバ林区が 185mm とスギ林区の 294mm に比べて少なかった。表層 0-10cm よりも下層において減少が顕著であったことから、スギーヒバ林区では植栽されたヒバの蒸発散により浸透水量が減少したと推察された。

(2) 無機態窒素沈着量・移動量

スギ林区では林内雨による沈着量が $54.2 \text{ mmolc m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ と林外雨に比べて増加し、下層植生通過雨で $44.8 \text{ mmolc m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ となった (図 4)。2006 年以降スギ林の林内雨による沈着量が林外雨による沈着量を上回ることが起きており、スギによる窒素吸収量の低下が推察される。一方、スギーヒバ林区における無機態窒素沈着量は林内雨で $37.7 \text{ mmolc m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ と林外雨に比べて減少した (図 5)。ヒバは 2002 年に植栽されており、葉面吸収が起きるほど窒素の要求量が多いと考えられる。

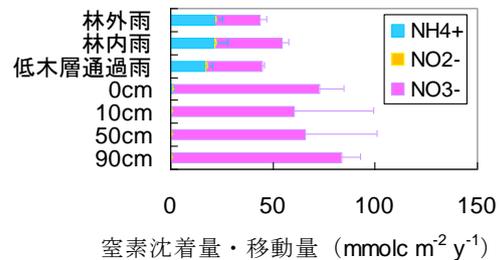


図 4: スギ林区の年間窒素移動量

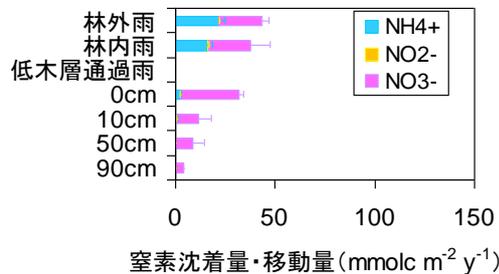


図 5: スギーヒバ林区の年間窒素移動量

土壌中の窒素移動量はスギ林区では林内雨や下層植生通過雨による沈着量よりも多かった (図 4) が、スギーヒバ林区では深さ 0cm において $31.9 \text{ mmolc m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ と林内雨による沈着量より減少した (図 5)。深さ 90cm における窒素移動量はスギ林区で $83.8 \text{ mmolc m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ であったのに対して、スギーヒバ林区で $4.08 \text{ mmolc m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ と顕著に少なかった。スギーヒバ林区で深さ 90cm の浸透水量がスギ林区に比べて少なかったことも考慮すると、ヒバによって窒素が吸収されたためと考えられた。

(3) 有機態窒素移動量

有機態窒素移動量はスギ林区に比べてスギーヒバ林区で少なかった(図6)。特に深さ50cmではスギーヒバ林区において $6.57 \text{ mg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ とスギ林区の1/8、90cmではスギーヒバ林区において $14.4 \text{ mg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ とスギ林区の1/6であった。しかし、スギーヒバ林区における無機態窒素(DIN)移動量が少なかったため、有機態窒素(DON)移動量のDIN移動量に対する比は深さ50cmで0.35、その他の深さで0.25前後であった(図7)。スギ林区におけるDON/DIN比は深さ0cmの0.14から深さ90cmの0.05まで低下していた。この様にDIN移動量の少ないスギーヒバ林区ではDON移動量はスギ林区に比べて少ないものの、窒素移動量に占める割合が高く、窒素溶脱量を評価するうえで重要であることが示された。

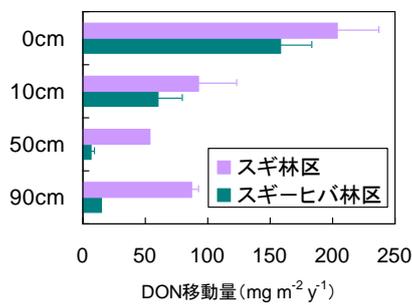


図6: 有機態窒素移動量

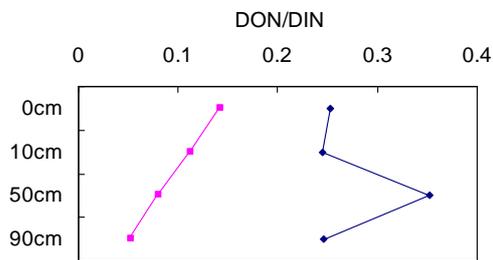


図7: 有機態窒素移動量の無機態窒素移動量に対するモル比

(4) 窒素無機化量

2010年5月から1年間および2011年5月から1年間の年間無機態窒素生成量をレジンコアの埋設した地点ごとに平均した上で、スギ林区、スギーヒバ林区それぞれの平均値を求めた(図8)。硝酸態窒素生成量は、スギ林区が $4040 \text{ mg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ 、スギーヒバ林区が $3850 \text{ mg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ で両試験区に有意差はなかった。一方、アンモニア態窒素生成量はスギ林区で $-48.3 \text{ mg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ であったのに対して、スギーヒバ林区は $992 \text{ mg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ と5%水準で試験区間に有意差がみられた。この硝酸態窒素とアンモニア態窒素を合計した窒素無機化量は、スギ林区が $3990 \text{ mg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ であったのに対して、スギーヒバ林区は $4840 \text{ mg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ と試験区間に5%水準で有意差がみられなかった。また、両試験区の窒素無機

化量は、秋田県のスギ林土壌における窒素無機化量($3600 \sim 7600 \text{ mg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$)の変動範囲(平井ら, 2006)内であった。

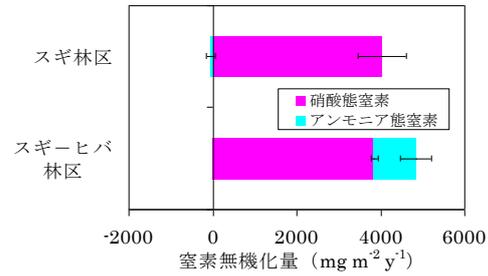


図8: 窒素無機化量

積雪の影響により11月に埋設したレジンコアは翌年5月上旬に回収した。この積雪期間における窒素無機化量は、スギ林区の 563 mg m^{-2} に対してスギーヒバ林区で 978 mg m^{-2} と有意に多かった。これらの量が年間の窒素無機化量に占める割合はスギ林区で14%、スギーヒバ林区で20%であった。

各培養期間における無機化量を培養日数で除して1日当たりの窒素無機化量を算出した。これと、深さ10cmにおける培養期間中の平均地温との関係を検討した。その結果、スギ林区で $y = 1.19x + 0.50$ $R^2 = 0.53$ ($p < 0.01$)、スギーヒバ林区で $y = 1.25x + 2.46$ $R^2 = 0.48$ ($p < 0.01$)という回帰式が得られた(y : 1日当たりの窒素無機化量、 x : 平均地温)。この回帰式から求めた1日当たりの窒素無機化量が $0 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ となる地温はスギ林区で -0.5°C 、スギーヒバ林区で -2.0°C であった。

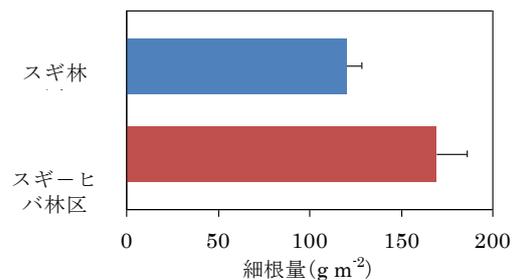


図9: 細根量

培養前土壌から分別した細根はスギ林区で 121 g m^{-2} であったのに対してスギーヒバ林区では 170 g m^{-2} と5%水準で有意に多かった(図9)。スギ林区における主要な下層植生はキブシ(*Stachyurus praecox*)やミツバウツギ(*Staphylea bumalda*)であったが、スギーヒバ林区では、タニウツギ(*Weigela hortensis*)やクマイザサ(*Sasa senanensis*)の現存量が多く、草本植物の現存量もスギ林区に比べて多かった。細根量の相違はこうした下層植生の繁茂の相違

や植栽されたヒバの生育を反映していると考えられた。

また、細根量が多いほど土壌 pH が低下した (図 10)。これは、根圏土壌は非根圏土壌に比べて土壌 pH が低い (小島ら, 2000) ためと考えられた。本研究では、根圏土壌と非根圏土壌に分離していないが、細根量が多くなれば土壌に占める根圏の割合が高く、土壌 pH がスギ-ヒバ林区で低かったと考えられる。また、スギ-ヒバ林区では土壌 pH が相対的に低下したことで、無機化により生成されたアンモニア態窒素の一部が硝化されずに残っていたために図 8 のような結果が得られたと推察された。

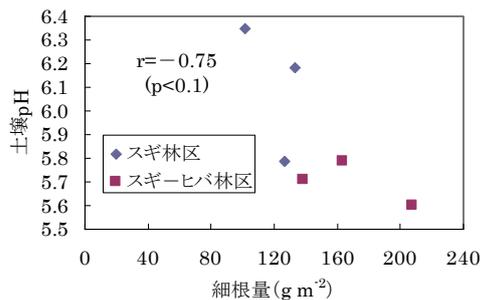


図 10：細根量と土壌 pH との関係

(5) 炭素移動量およびガスフラックス

溶存有機態炭素移動量は深さ 0cm においてスギ林区の $7280 \text{ mg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ に比べ、スギ-ヒバ林区で $4400 \text{ mg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ と少なかった (図 11)。溶存有機態炭素移動量は深さ 50cm で最も少なくなり、深さ 90cm ではスギ林区で $224 \text{ mg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ 、スギ-ヒバ林区で $230 \text{ mg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ と有意差は認められなかった。スギ-ヒバ林区では、深さ 0cm、10cm において DOC 濃度が高くなれば、DON 濃度も高くなる傾向が見られたが、スギ林区では明確な傾向が見られなかった。こうした相違も含めて窒素動態と炭素動態との関連性は今後の課題として残された。

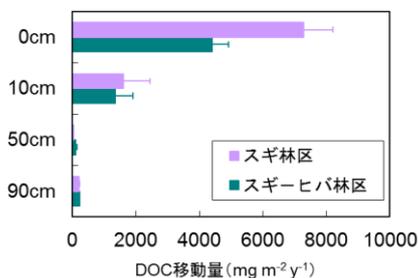


図 11：溶存有機態炭素移動量

また、6月から10月の5ヶ月間における CO₂ ガスフラックスの積算値はスギ林区で $184 \sim 213 \text{ g C m}^{-2}$ 、スギ-ヒバ林区で $179 \sim 216 \text{ g C m}^{-2}$ であった。CO₂ ガスフラックスに対して細根量の相違の明確な影響が確認されなかったことから、今後他の要因も含め

てさらに検討する必要があると考えられた。

スギ林区においては林内相対照度が 20% 程度で生育するとされるミツバウツギなどが見られた。スギ-ヒバ林区では林内相対照度が 30% 以上で生育するワラビ (*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*) が見られた。このことから、複層林にしたことにより林内相対照度が高くなり、クマイザサや草本植物が繁茂し、細根量も増加したと考えられた。この細根量の増加は土壌 pH の低下の一因と考えられた。また、pH が低下したことは窒素無機化量には影響しなかったものの、無機化により生成された窒素の組成に影響したと推察された。

窒素無機化量に有意差は認められなかったが、窒素移動量はスギ-ヒバ林区において減少した。表層だけでなく、下層においても窒素移動量が減少していたことから、下層植生だけでなく、ヒバによる窒素吸収によって窒素移動量が減少したと考えられた。

長伐期一斉更新施業を進めているスギ林では発達した下層植生により大気由来の窒素沈着の影響を緩和し、窒素溶脱量を低減していると考えられている (Baba et al., 2012) が、本研究により複層林にした初期段階においては、下層植生に加えて植栽したヒバが窒素溶脱量を低減に寄与していると考えられた。

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)

[学会発表] (計 6 件)

- ① 馬場光久・隅田龍介・小玉香織・渡部 学・杉浦 俊弘 複層林化の窒素循環に対する影響 (4) 塩基動態に対する窒素溶脱量低減の影響 2012年度日本土壌肥料学会大会 平成 24 年 9 月 4 日-6 日 鳥取大学 (鳥取)
- ② 隅田龍介・眞家永光・馬場光久・高山はるか・長畑優樹・高松利恵子・杉浦 俊弘 複層林化の窒素循環に対する影響 (3) 溶存有機態窒素移動量 2012年度日本土壌肥料学会大会 平成 24 年 9 月 4 日-6 日 鳥取大学 (鳥取)
- ③ Sumida, R., Baba, M., Oka, K., Shima, E., and Sugiura, T. Nitrogen dynamics under multiple-storied stand of *Cryptomeria japonica* and *Thujopsis dolabrata* var. *hondai* in Aomori, Japan. The 12th international symposium for environmental issues in Korea and Japan 明治大学 (東京) 平成 23 年 12 月 27 日

- ④ Baba, M., Sumida, R., Shima, E., and Sugiura, T. Changes in nitrogen leaching in long rotation stand of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) in Aomori, Japan. The 12th international symposium for environmental issues in Korea and Japan 明治大学 (東京) 平成 23 年 12 月 27 日
- ⑤ 隅田龍介・岡 香織・嶋 絵夢・馬場光久・杉浦 俊弘 複層林化の窒素循環に対する影響 (2) 窒素無機化活性に対する影響 2011 年度日本土壤肥料学会大会 平成 23 年 8 月 8 日-10 日 つくば国際会議場 (つくば市)
- ⑥ 馬場光久・隅田龍介・岡 香織・高松利恵子・眞家永光・杉浦 俊弘 複層林化の窒素循環に対する影響 (1) 窒素溶脱量の低減 2011 年度日本土壤肥料学会大会 平成 23 年 8 月 8 日-10 日 つくば国際会議場 (つくば市)

[図書] (計 1 件)

- ① 馬場光久 物質収支 森林立地学会 (編) 森のバランス 植物と土壌の相互作用 p. 269-275 (第 26 章) 東海大学出版会, 2012 年 4 月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

馬場 光久 (BABA MITSUHISA)
北里大学・獣医学部・准教授
研究者番号：70286368

(2) 研究分担者

眞家 永光 (MAIE NAGAMITSU)
北里大学・獣医学部・講師
研究者番号：00453514

高松 利恵子 (TAKAMATSU RIEKO)
北里大学・獣医学部・講師
研究者番号：90327461