

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 11 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24580034

研究課題名(和文) 放置リスク評価に基づく里山林・人工林からの撤退シナリオ

研究課題名(英文) Scenario to withdraw from Satoyama forest and plantation based on the risk assessment of abandonment

研究代表者

森本 淳子 (MORIMOTO, Junko)

北海道大学・農学研究院・准教授

研究者番号：50338208

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：1) 里山林・人工林の放置が引き起こすリスクの実態解明、2) 実態のモデル化と高リスク地域の抽出、3) 里山林・人工林からの撤退シナリオを描くことを目的として調査研究を行った。その結果、1) 人工林における風倒リスクは、天然林においてもリスクの高い場所より大きく上昇すること、2) 道南地域では、体サイズの大きいヒグマのオス個体が、森林に隣接した人気の少ない農地に出没してコーンを利用していること、などが明らかとなった。人工林・里山林いずれのリスクも軽減する手段として、人工林の混交林化があげられ、3) 斜面上の突出部に立地する高齢林分の混交林化が減災効果が大きいこと、などが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：We conducted the research for 1) Elucidating the actual situation of risks caused by abandonment of satoyama forests and artificial forests, 2) modeling risks and extracting high-risk areas, and 3) drawing a scenario of withdrawal from satoyama forest and artificial forest. As a result, 1) the windthrow risk in artificial forests rises more greatly in places with high risk even in natural forests, 2) big male bear with large body sizes appear on low popularity agricultural land adjacent to the forest and use corn. 3) as a means to reduce both risks of artificial forests and satoyama forests, there is the conversion of artificial forests into mixed forest. Conversion of the old stands into mixed forests which is located on the protrusions on the slope is the most effective for reducing windthrow risks. We proposed other management methods for effective risk mitigation.

研究分野：生態系管理学

キーワード：放置人工林 獣害 土地利用 安定同位体 風倒リスク 食物利用割合

1. 研究開始当初の背景

2001年に国連の前事務総長が提唱して始まった世界の生態系サービス評価(MA:2005年)の枠組みを使い、日本では里山生態系に着目した評価が行われCOP10でその成果が報告された。しかし作業過程で、本質的な課題に踏み込めない欠点が浮き彫りになっている(Morimoto et al. 2009)。それはMAの評価枠組みが、生態系の「潜在的な利用価値」を評価するために「利用の逡減(放置)」によって生態系サービスが発揮されない状況を表現しにくいことだ。放置里山林・放置人工林で生じる将来の生態系サービスの劣化を浮き彫りにすることが課題として残されている。

放置里山林における生態系サービス劣化の一例として野生動物とヒトの軋轢がある。世界的にクマ類、シカ類とヒトとの軋轢(農林漁業被害・人的被害)が数多く報告されており、軋轢が発生する空間特性の解明が進められている。一般には、野生動物の行動圏とヒトの活動圏が交差する地帯で軋轢が多発する(Posillico et al. 2004)。平成21年度科研課題(代表:森本)で、ヒグマ・エゾシカとヒトの軋轢について解析を行い、ヒグマについては、オスの幼獣が軋轢を起こしやすいこと、地域スケールでの土地利用の配置が軋轢発生に影響する(沖積平野の広大な農地より、山間の狭い農地で軋轢が多い)ことを明らかにした(Morimoto et al. 2010)。ただし、開発の歴史が野生動物の食性をヒト依存へと変質させた実証や、全道スケールでの環境の人為的変化(森林開発、河川改修)と軋轢の関係は未解明である。

放置人工林における生態系サービス劣化の一例として、台風時における人工林の一斉倒壊がある。拡大人工林政策で造成されてきた、ほぼ単一種の同齢林は、林業の低迷により間伐遅れ、主伐期を超えた過熟林の状態にある。そのような人工林は、下草の衰退による表土や栄養塩の流亡、水源涵養力の低下、さらに、均質な空間構造による強風への脆弱性が懸念される(Onda et al. 2010)。大雨や強風などの自然かく乱が放置人工林に与えるインパクトは特に大きく、「自然」災害とは言い難い側面がある。強風によって生じる森林の倒壊(図1)は、直後のみならず、長期間にわたり生態系サービスに大きな負の影響力を持ちうることを明らかにしている(Morimoto et al. 2011)。しかし、どのような地形的(斜面方位や斜度)・生物的(林分の空間構造や周辺林分との類似性)条件下にある人工林が倒壊しやすいのか、日本ではまだ総合的に明らかにされた例はない。

2. 研究の目的

燃料・肥料革命を経て、少子高齢化、農山村過疎化のいま、里山林・人工林からの賢明な撤退の道筋を描くことが現代日本の重要課題である。自然資源の生態系サービスは、

通常「存在すること」によって得られるプラス面のみ評価される。しかし、人が作り出してきた生態系、里山林や人工林にはその評価軸は適さない。なぜなら、利用の逡減により自然林にはなかった負の生態系サービス(リスク)が生じているからだ。里山林の放置は野生動物とヒトの軋轢(あつれき)を招き、手入れされない過熟人工林は災害を増幅させる場合がある。本研究は、北海道全域を対象に、1)里山林・人工林の放置が引き起こすリスクの実態解明、2)実態のモデル化と高リスク地域の抽出、3)里山林・人工林からの撤退シナリオを技術の提案と共に描くことを目的とする。

3. 研究の方法

1) 人工林の放置がひきおこす風倒リスク

モデル地域の選択 人工林の強風への脆弱性を評価するため、2004年の台風19号で道内の人工林と天然林に生じた大規模な倒壊地が発生した地域を探索した。北海道道有林および、北大研究林の集積したデータにあたり、条件にあう林分を抽出した。その結果、人工林4林分と天然林4林分を対象地とした。

空中写真の実体視による風倒地抽出 2004年の台風前後に撮影された空中写真を入手した。空中写真を実体視し林冠の消失をもとに対象地の森林倒壊部分の抽出、GISデータ化を行った。

風倒発生に関連した林分属性と環境情報の整理 対象地の林分属性(密度・形状比・広葉樹密度・林齢)を森林簿から抽出し、地形特性(標高・傾斜角・TPI)はDEMから計算した。風況については、Ito et al. (2016)の成果を入手し、最大風速や風速の最頻値を算出した。

モデル化 本研究で用いたデータセットでは、全体のセル数に対する風倒発生セルの割合が極めて少ない、ゼロ過剰分布を示し(風倒割合=1.7%)、従来の回帰分析手法をそのまま当てはめることは不適切であると考えられた。Random forest モデルをはじめとする機械学習モデルはデータのばらつきや欠損値による影響が少なく(Hanewinkel et al. 2004)、また非線形パターンの抽出に優れているというメリットも有ることから、本研究ではRandom forest によるアプローチを採用した。本研究で用いたデータセットにおいて、樹高や立木密度などの林分の特性を示す変数は、森林管理上の区画である林小班毎に与えられており、同じ小班に属するセルは同一の林分変数を持っている。したがって、大面積の林小班による林分変数の偏りを防ぐため、林小班内の風倒率を維持したまま30セルを抽出するダウンサンプリングを行い、このサブセット(n=44,489)を元にモデル構築を行った。得られたモデルを用い10分割交差検証法を行い、モデルの精度推定を行った。

2) 里山林の放置がひきおこす獣害リスク
 ヒグマ骨試料の収集と分析 解析対象地域の選定 北海道における里山林放置リスクの一つである、ヒグマ (*Ursus arctos*) の農作物利用 (獣害) に着目した。各地の博物館や郷土資料室、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター植物園内の博物館、北海道立総合研究機構環境科学研究センターなどから入手したヒグマの骨試料を利用し窒素・炭素・硫黄の同位体分析を行い、道南と道東の古代～現代のヒグマの食性を分析した。道南におけるヒグマの農作物利用 農地における人とヒグマの軋轢に関する研究の多くは、農地の周辺環境のみに着目してきた。これらの研究は被害対策を講じるうえで極めて重要である一方どのような特徴を持つ個体がより農作物を利用するかは未解明であった。そこで、本研究ではヒグマの骨コラーゲンを対象とした安定同位体比分析手法と GIS による空間解析により、過去に捕獲されたヒグマの個体の特徴と捕獲地点周辺の環境要因がヒグマの農作物利用に与える影響について解析した。2000 年から 2012 年までに捕獲された 4 歳以上のヒグマの大腿骨試料、132 個体 (メス 65 個体、オス 67 個体) を選定し、安定同位体比値を測定した。また、本研究では被害作目のうち最も被害額が大きいコーンに着目した。メス及びオスのコーン利用割合を目的変数とした一般化線形モデル (GLM) を用いて解析を行った。誤差分布を beta 分布、リンク関数を logit とした。説明変数はヒグマの年齢、大腿骨長という個体情報と、捕獲地点から発生させたバッファー内の人口、森林面積、路網延長、及び接エッジ長という環境変数とした。コーンの作付面積や地理条件による影響を分析した。

3) 人工林の混交林化ポテンシャル評価
 対象地の抽出と現地調査 高齢級トドマツ人工林で多面的機能を維持するための一手段として、混交林化・広葉樹林化があり、混交林化の成功のかぎは、侵入してくる稚樹の個体数にある。そこで、道有林空知管理区内の北海道赤平市・芦別市・深川市にまたがる地域の 49～73 年生の高齢級トドマツ人工林を対象として、広葉樹稚樹の個体数調査、関わる施業履歴、立地環境、種子供給源の調査・推定を行った。

稚樹個体数密度を推定するモデルの構築 種子散布型を区別して集計した稚樹個体数を目的変数としたモデル (風散布種モデル・鳥散布種モデル) 耐陰性を区別して集計した稚樹個体数を目的変数としたモデル (中間種モデル・後期種モデル)

の 4 種類を、一般化線形モデル (GLM) によって構築した。説明変数は、間伐回数、最終間伐からの年数、トドマツ BA を施業履歴を表す変数、母樹本数、周囲の広葉樹林・混交林率、埋土種子からの高木種発芽数を種子供給源を表す変数、ササの出現割合を立地環境を表す変数とした。母樹本数は目的変数に合わせて散布型別の母樹本数、耐陰性別の母樹本数を用いた。目的変数の確率分布は負の二項分布、リンク関数は log とし、当てはまりの良さを表す AIC を基準に変数選択を行い、AIC が最も低くなる変数セットのモデルをベストモデルに選択した。ベストモデルに選択された変数のうち、95%信頼区間が 0 をまたがなかった変数が目的変数に対して有意な効果をもつとみなした。

4. 研究成果

1) 人工林の放置がひきおこす風倒リスク
 人工林と天然林では人工林のほうが風倒確率が高くなること、人工林において最大風速・樹高・立木密度と風倒確率は単調増加の関係にあること、露出度と傾斜角と風倒確率の間には U 字の関係があることが示された (図 1)。

さらに、人工林における風倒リスクは天然林においてもリスクの高い場所でより大きく上昇することが明らかになり、減災を目的とした人工林の天然林への転換は、斜面上の突出部に立地する高齢林分でより効果的であることが示唆された。

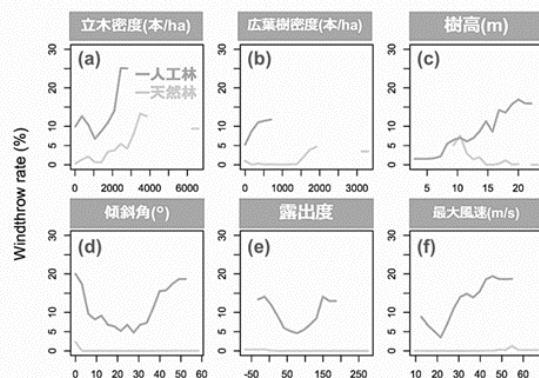


図 1: 人工林 (濃) と天然林 (淡) のそれぞれにおける、(a) 立木密度、(b) 広葉樹密度、(c) 樹高、(d) 傾斜角、(e) 地形露出度、及び (f) 最大風速と風倒発生確率の関係。Y 軸は風倒発生確率 (%) を表す。(出典: 中川ら 2016)

2) 里山林の放置がひきおこす獣害リスク
 道東地域ではサケの利用割合が 19% (古代) から 8% (現代) まで減少し、陸上動物 (エゾシカや昆虫) の利用が 64% から 8% まで減少した。道南地域では陸上動物の利用割合が 56% (古代) から 5% (現代) まで減少していた。動物質食物利用の指標となる、窒

素同位体比値 ($\delta^{15}\text{N}$) の時間変化 (図 2) から、明治時代の創始期である 1860 年前後を境に大きく減少し始めたことが分かる。河川改修や大規模な農地開発など、ヒグマの食性変化に影響を与えた要因は特定できないが、何らかの人為的な土地利用変化がかかわっていた可能性が高い。

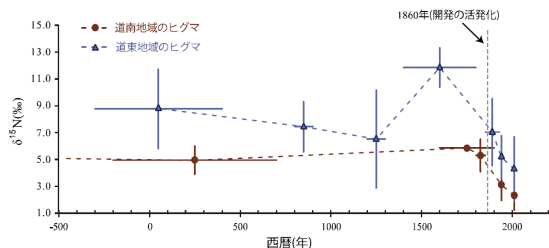


図 2：窒素同位体比値 ($\delta^{15}\text{N}$) の時間変化
森本 (2015) より

道南ヒグマの農作物利用に関するモデル選択の結果、メスでは有効なモデルが構築できなかった。オスについては、大腿骨長とバッファ半径が 2.5km 以内の人口、及び接エッジ長からなるベストモデルが選択された。大腿骨長及び接エッジ長はコーン利用割合に正に影響し、人口が負に影響した (表 1)。個体情報及び捕獲地点周辺の環境情報の両方で、オスのコーン利用が説明できることがわかった。オスについては、社会的に優位な体サイズの大きい個体が、森林に隣接した人気の少ない農地に出没して、多くのコーンを利用していることが明らかになった。

これより、有害個体を駆除する現在の対策には限界があること、環境の改善にむけた取り組み (例えば森林と農地の近接部の管理：刈り払い・電気柵・農地の移転、農地の見回り頻度をあげる等) が有効と考えられる。

表 1：ヒグマ個体のコーン利用割合を決定する要因 (モデル選択の結果; 投稿中)

	環境要因		個体要因	
	人口	森林と農地の境界線延長	年齢	大腿骨長
メス♀	NULL (変数なし) モデルがベスト			
オス♂	-†	+*		+*

3) 人工林の混交林化ポテンシャル評価

風散布型の種では周囲の広葉樹林・混交林率が高い林分ほど、鳥散布型の種は間伐回数が多い林分ほど、稚樹個体数が多くなった。しかしながら、耐陰性に基づく有効なモデルは構築できなかった (表 2)。これらの結果から、周囲の広葉樹林・混交林率が高い林分では特に施業を加えなくとも風散布型の広葉樹を交えた混交林に近づいていくと予想される。ただし、周囲に広葉樹林・混交林がない林分であっても、間伐を受けてきた林分で

あれば、鳥散布型の広葉樹を交えた混交林に近づいていく可能性がある。

表 2 高木種の稚樹個体数を予測するベストモデル (投稿中)

モデルタイプ	説明変数	標準回帰係数	95%信頼区間		標準誤差	p値
			下	上		
風散布種モデル	切片*	1.69	1.488	1.893	0.10	<0.01
	周囲の広葉樹林・混交林率*	0.24	0.032	0.467	0.10	<0.05
鳥散布種モデル	切片*	0.85	0.620	1.087	0.12	<0.01
	間伐回数*	0.29	0.018	0.570	0.12	<0.05
	周囲の広葉樹林・混交林率*	0.22	-0.011	0.475	0.12	0.070
中間種モデル	切片*	1.38	1.178	1.596	0.11	<0.01
	周囲の広葉樹林・混交林率*	0.29	0.084	0.522	0.11	<0.01
	最終間伐からの年数	-0.18	-0.400	0.044	0.11	0.096
後期種モデル	切片*	1.24	1.030	1.465	0.11	<0.01
	ササ出現割合 トマツBA	0.22	-0.005	0.465	0.11	<0.05
		-0.19	-0.418	0.023	0.11	0.086

* 信頼区間がゼロをまたがない有意な変数

<引用文献>

Morimoto J, Kondo T, Miyauchi T (2009) Satoyama-satoumi sub-global assessment in Japan and involvement of the Hokkaido Cluster. *Landscape and Ecological Engineering* 5 (1):91-96. DOI: 10.1007/s11355-008-0059-y

Morimoto J, Mishima Y, Ogawa K, Mano T, Nakamura F (2010) Environmental features that induce human-brown bear conflicts and validation analysis of protected area. The 4th EAFES international conference, Sangju (Republic of Korea) 2010-09-16

Morimoto J, Morimoto M, Nakamura F (2011) Initial vegetation recovery following a blowdown of a conifer plantation in monsoonal East Asia: Impacts of legacy retention, salvaging, site preparation, and weeding. *Forest Ecology and Management* 261 (8):1353-1361. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.01.015

Onda Y, Gomi T, Mizugaki S, Nonoda T, Sidle C. R (2010) An overview of the field and modelling studies on the effects of forest devastation on flooding and environmental issues. *Hydrological Processes* 24 (5):527-534. DOI: 10.1002/hyp.7548

Posillico M, Meriggi A, Pagnin E, Lovari S, Russo L (2004) A habitat model for brown bear conservation and land use planning in the central Apennines. *Biological Conservation* 118 (2):141-150. DOI: 10.1016/j.biocon.2003.07.017

Ito R, Takemi T, Arakawa O (2016) A possible reduction in the severity of typhoon wind in the northern part of Japan under global warming: a case study. *SOLA* 12: 100-105. DOI: 10.2151/sola.

中川考介, 森本淳子, 古川泰人, 高野(竹中)宏平, 饗庭正寛, 小黒芳生, 三島啓雄, 小川健太, 伊東瑠衣, 竹見哲也(2016)北海道における森林の風倒評価:2004年台風18号による影響, 台風研究会「複合系台風災害のメカニズムに関する研究集会」, 24 - 28.

森本淳子(2015)北海道のヒグマ, 肉食から草食傾向へ。明治以降の開墾が影響か - 考古試料の安定同位体分析から -, 北海道大学プレスリリース(研究発表), URL: http://www.hokudai.ac.jp/news/150327_pr_agr.pdf, 2015-03-27

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

Kohei T. Takano, Kosuke Nakagawa, Masahiro Aiba, Michio Oguro, Junko Morimoto, Yasuto Furukawa, Yoshio Mishima, Kenta Ogawa, Rui Ito and Tetsuya Takemi, Projection of impacts of climate change on windthrows and evaluation of potential adaptation measures in forest management: A case study from empirical modelling of windthrows in Hokkaido, Japan, by Typhoon Songda (2004), Hydrological Research Letters, 査読有, 10(4)巻, 2016, 132-138
DOI:10.3178/hr.l.10.132

Jun Matsubayashi, Ichiro Tayasu, Junko O. Morimoto, and Tsutomu Mano, Testing for a predicted decrease in body size in brown bears (*Ursus arctos*) based on a historical shift in diet. (歴史的な食性変化によるヒグマの体サイズ減少を検証する), Canadian Journal of Zoology, 査読有, 94(7)巻, 2016, 489-495
DOI: 10.1139/cjz-2016-0046

中川考介, 森本淳子, 古川泰人, 高野(竹中)宏平, 饗庭正寛, 小黒芳生, 三島啓雄, 小川健太, 伊東瑠衣, 竹見哲也, 北海道における森林の風倒評価:2004年台風18号による影響, 台風研究会「複合系台風災害のメカニズムに関する研究集会」, 査読無, 2016, 24 - 28

高野(竹中)宏平, 饗庭正寛, 小黒芳生, 中川孝介, 森本淳子, 古川泰人, 三島啓雄, 小川健太, 伊東瑠衣, 竹見哲也, 北海道における森林の風倒予測:2004年18号台風の21世紀末疑似温暖化実験, 台風研究会「複合系台風災害のメカニズムに関する研究集会」, 査読無, 2016,

Jun Matsubayashi, Junko O. Morimoto, Osamu Takahashi, Ichiro Tayasu, Tsutomu Mano, Kyoko Kobayashi, Futoshi Nakamura, Major decline in marine and terrestrial animal consumption by brown bears (*Ursus arctos*), Scientific Reports, 査読有, 5巻, 2015, Article number: 9203 (2015)
DOI:10.1038/srep09203

Matsubayashi J, Morimoto J, Mano T, Aryal A, Nakamura F, Using stable isotopes to understand the feeding ecology of the Hokkaido brown bear (*Ursus arctos*) in Japan., Ursus, 査読有, 25巻, 2014, 87-97
DOI:10.2192/URSUS-D-12-00015.1

森本淳子, 里山林・人工林の負の生態系サービス, ランドスケープ研究, 査読無, 78(2)巻, 2014, 85 - 86

[学会発表](計14件)

小川健太, 農業・環境分野等における UAV の活用状況, 国土交通省地理院 第14回北海道測量技術講演会(招待講演), 2017年1月26日, 札幌第1合同庁舎講堂(北海道・札幌市)。

崎山智樹, 森本淳子, 松林順, 古川泰人, 近藤麻実, 釣賀一二三, 間野勉, ヒグマ (*Ursus arctos*) の農作物利用における規定要因の解明~生息地環境と個体情報に着目して~, 日本生態学会第63回大会, 2016年3月22日, 仙台国際センター(宮城県・仙台市)。

玉利直樹, 小川健太, 森本淳子, 中川考介, 三島啓雄, 台風被害前後の空中写真から作成した DSM の差分による森林風倒地の推定, 日本写真測量学会北海道支部第34回学術講演会, 2016年3月4日, かでる2・7(北海道・札幌市)。

小松玄季, 森本淳子, 明石信廣, トドマツ高齡級人工林における天然林化の可能性, 北方森林学会大会, 2015年11月12日, 札幌コンベンションセンター(北海道・札幌市)。

中川考介, 森本淳子, 古川泰人, 三島啓雄, 小川健太, 饗庭正寛, 小黒芳生, 高野宏平, 伊藤瑠衣, 竹見哲也, 北海道における森林の風倒評価:2004年18号台風の影響, 京都大学防災研究所共同研究集会「台風研究会」, 2015年10月31日, 京都大学(京都府・京都市)。

高野宏平、饗庭正寛、小黒芳生、中川孝介、森本淳子、古川泰人、三島啓雄、小川健太、伊東瑠衣、竹見哲也、北海道における森林の風倒予測：2004年18号台風の21世紀末擬似温暖化実験、京都大学防災研究所共同研究集会「台風研究会」、2015年10月31日、京都大学（京都府・京都市）。

Kosuke Nakagawa, Junko Morimoto, Yoshio Mishima, Yasuto Furukawa, Kenta Ogawa, Kohei Takano, Masahiro Aiba, Michio Oguro, Teshuya Takemi, Developing windthrow risk model for plantation management strategy under climate change., The 9th Annual International Association for Landscape Ecology World Congress, 2015年7月6日, Portland (USA).

Junko Morimoto, Keitaro Fukushima, Satoshi Suzuki, Impacts of salvage logging on water quality, carbon stocks, and vegetation recovery - some case studies in monsoonal Asia-, Disturbance & Salvage Logging Symposium, 2015年5月31日, Rector (USA).

大竹口久美子、中川孝介、古川泰人、森本淳子、高齢級トドマツ人工林における天然林化の潜在力評価、第126回日本森林学会大会、2015年3月28日、北海道大学（北海道・札幌市）。

中川孝介、森本淳子、三島啓雄、古川泰人、小川健太、竹見哲也、気候変動下における人工林の最適配置へ向けた風倒リスクモデルの構築、日本生態学会第62回全国大会、2015年3月19日、鹿児島大学（鹿児島県・鹿児島市）。

三島啓雄、フィールドサイエンスにおけるGISの活用、第46回種生物学シンポジウム（招待講演）、2014年12月1日～2014年12月7日、富士Calm（山梨県・富士吉田市）。

三島啓雄、哺乳類の研究はじめました - もちもの:FOSS4G、日本哺乳類学会2014年度大会、2014年9月1日～2014年9月4日、京都大学（京都府・京都市）。

森本淳子、大竹口久美子、三島啓雄、古川泰人、小川健太、強風かく乱に対する人工林のレジリエンス-天然林との比較-、日本生態学会大会、2014年3月17日、広島国際会議場（広島県・広島市）。

中川孝介、森本淳子、三島啓雄、古川泰人、小川健太、人工林化に伴う風倒攪乱への影響の解明-天然林との比較研究-、日本生態学会大会、2014年3月15日、広島国際会議場（広島県・広島市）。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森本 淳子 (MORIMOTO, Junko)
北海道大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：50338208

(2) 研究分担者

小川 健太 (OGAWA, Kenta)
酪農学園大学・農食環境学群・准教授
研究者番号：10533177

三島啓雄 (MISHIMA, Yoshio)
(国研)国立環境研究所・生物・生態系環境
研究センター・准特別研究員
研究者番号：60534352