

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 25 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580217

研究課題名(和文) 早期森林資源利用診断システムの開発

研究課題名(英文) Development of early forest resource utilization diagnostic system

研究代表者

山本 一清 (Yamamoto, Kazukiyo)

名古屋大学・生命農学研究科・准教授

研究者番号：40262430

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)：早期森林資源利用診断システムの開発を目指し、まずLiDARデータから算出され3つのLiDAR指標を用いた植生分類手法を提案し、その有効性を明らかにした。また、対象林分の森林資源利用予測の基盤となる林内の単木抽出においても、新たに林冠復元解析によるLiDARデータ解析システムの開発を行い、その有効性を明らかにした。

さらに、早期森林資源利用診断システムのプロトタイプとして、上記で得られる森林現況から設定した施業シナリオの施業評価が可能な、システム収穫表DDPSを基盤とするシナリオ解析システムを開発した。また、シナリオ解析システムに今後国内人工林に求められる様々な施業シナリオについても検討した。

研究成果の概要(英文)：Aiming to develop early forest resource utilization diagnostic system, we firstly proposed a vegetation classification method using three LiDAR-derived indices and suggested its effectiveness. In addition, for detecting positions and crown areas of trees within a forest, we developed a new LiDAR data analysis system based on the canopy restoration analysis and suggested its effectiveness by comparing with existing system (LiDAS).

In addition, as a prototype system of the early forest resource utilization diagnostic system, we developed a scenario analysis system based on the system yield table DDPS. This system evaluate the forest management scenarios from on the forest resource information estimated from LiDAR data using the systems above mentioned and existing GIS data. We further investigated the various forest management scenarios required for plantations of Japan in future for scenario analysis system.

研究分野：森林計測学

キーワード：航空機LiDAR レーザー透過率 植生分類 システム収穫表 樹幹表面積 シナリオ解析 広葉樹林化適地 人工林内広葉樹多様性

1. 研究開始当初の背景

近年の急速な航空機 LiDAR 観測及び解析技術の発達により、特に針葉樹人工林の資源推定においては、現地調査の代替としての利用が十分に考えられる程の成果が得られている。しかし、現状では、プロットスケールを中心とした解析技術の精度検証が大部分であり、森林経営計画の作成等に直接寄与できるような、統合されたシステムが構築された例はない。「森林・林業再生プラン」にうたわれているような、効率的かつ安定的な林業経営の基盤を形成するためには、航空機 LiDAR 観測及び解析により得られる森林資源情報及び地形情報は重要な基盤情報となりうるが、現状では観測だけでなく、その解析においても高度な技術及び高価な解析システムを要し、また個々の技術を統合した応用例も少なく、実利用という点においては十分な成果が得られているとは考えられず、本研究で提案するような統合型の評価及び経営計画支援システムの重要性は高いものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、これまで申請者らの研究成果を統合し、航空機 LiDAR 観測から、観測データによる解析・予測システムまでも統合し、実用的な最適資源利用計画の作成支援システムの構築を目的とした。

そのため本研究では、まず波形記録式航空機 LiDAR による樹種分類及び林相区分への応用可能性の検討し、経営計画作成において重要な林相情報の推定方法の開発・検証を行った。さらに、森林経営計画作成にも実用的に応用するため、新たに単木レベルでの立木位置及び樹冠認識システムを開発した。最後に、これらの手法により得られる林相情報及び林内単木情報とシステム収穫表 DDPS を統合したシナリオ解析システムを開発し、任意の施業シナリオによる将来予測を地理情報システム (GIS) 上に展開可能なシステムの開発を行った。最後に、経営計画支援システムの実例として、収量比数 (Ry) を一定の範囲で管理する場合の間伐時期、間伐量等の推定をシナリオ解析システムで実施するとともに、経営計画において今後必要となりうる施業シナリオについて検討を行った。

3. 研究の方法

(1) 波形記録式航空機 LiDAR による林相区分への応用可能性の検討

名古屋大学大学院生命農学研究科附属フィールド科学教育研究センター稲武フィールド(以下、稲武とする)を対象とし、LiDAR データから算出される各指標(以下、LiDAR 指標とする)について、樹種間の差異を比較

し、樹種分類への有効性について検討した。

さらに、得られた有効な LiDAR 指標による広域での樹種分類精度について検証するため、LiDAR データから算出した各指標値のラスター画像から、最尤法による教師付き分類を行った。この分類結果は、対象地全域を 20m 間隔の格子に分割し、各格子について植生図と航空写真を参考に GIS 上で樹種を判読可能であった 427 点(ヒノキ:106、スギ:107、カラマツ:94、広葉樹:120)のデータ(検証データ)との比較により、分類精度について検討した。

最後に、上記のようなピクセルベース分類に対し、空間的に隣接する比較的均質な画素のまとまり(オブジェクト)を分類の最小単位とするオブジェクトベース分類手法を LiDAR 指標による樹種分類に応用することにより、樹種分類及び林相区分の精度向上が可能かを検討するため、各解析スケールで算出した LiDAR 指標値のラスター画像を eCognition5.0 (Definiens 社製)により領域分割(セグメンテーション)を行い、分割された個々のオブジェクト(領域)内の LiDAR 指標の平均値により教師付き分類を行い、ピクセルベース分類による分類精度と比較検討した。

(2) 新たな単木レベルでの立木位置及び樹冠認識システムの開発

航空機 LiDAR データによる単木検出では、実測立木が存在するが樹冠の推定が行われない個体(以後、未検出木とする)が生じ、正確な単木検出がなされていないという課題があった。そこで、樹冠内の LiDAR データ $(x_i, y_i, z_i; m)$ から、梢端からの垂直方向の距離 $L(m) = z_i - z_0$ 、梢端からの水平方向の距離 $W(m) = ((x_i - z_0)^2 + (y_i - y_0)^2)^{0.5}$ の比を樹冠傾斜とし、抽出樹頂点と樹冠傾斜を用いて DSM の復元を行い、平滑化した DSM から復元 DSM を除することで得られる差分 DSM 内に樹頂点とそれに続く樹冠様の広がりが見られたとき、これを未検出木として検出する新たな単木レベルでの立木位置及び樹冠認識システムの開発を行い、名古屋大学大学院生命農学研究科附属フィールド科学教育研究センター稲武フィールド(以下、稲武フィールド)、段戸国有林、三重県林業研究所実習林内(以下、三重県実習林)の 3 サイトに設置した計 13 プロットを対象とし、従来の手法を用いた LiDAS システムとの比較により、以下の指標を用いて検出精度を検討した。

正しく抽出された立木個体 (Correct: %)

抽出できなかった立木個体 (Omission Error: %)

対応する立木個体がない過剰抽出樹頂点 (Commission Error: %)

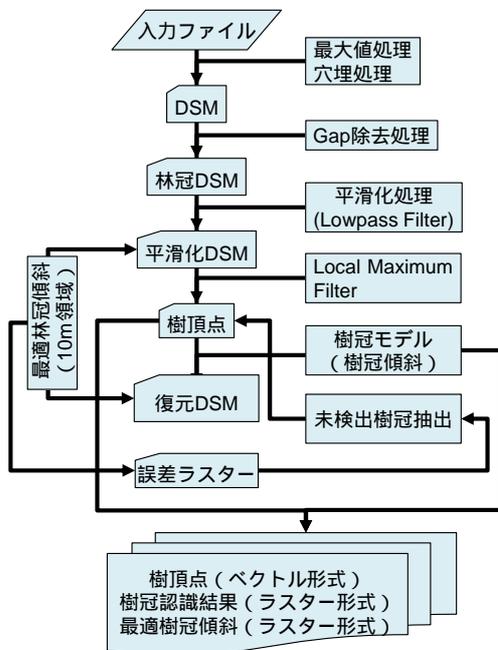


図1. 新たな単木検出システムの概要

(3) シナリオ解析システムの開発

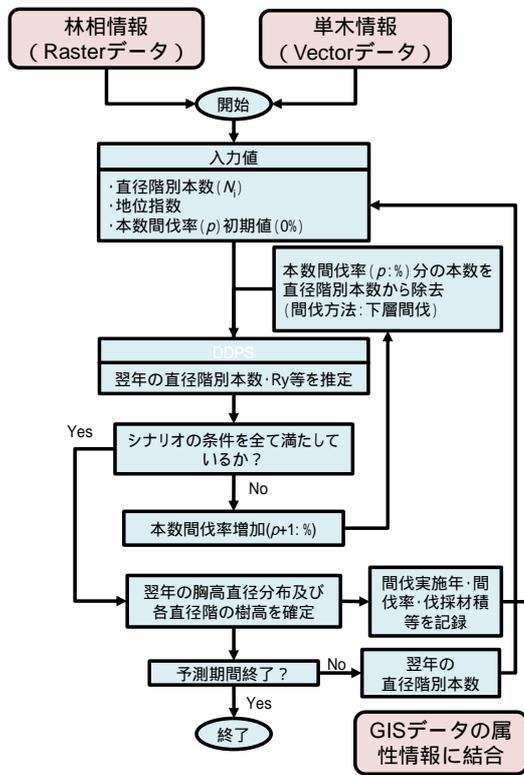


図2. シナリオ解析システムの概要

早期森林資源利用診断システムのプロトタイプとして、(1)及び(2)などから得られる森林現況と既存の森林GISデータを利用した、システム収穫表DDPSを基盤とするシナリオ解析システム(図2)を開発した。シナリオ解析システムは、柔軟な拡張性を持たせるため、ruby言語で構築し、GISデータ(ラスタ型及びベクトルポイント型)の入力機能及びベクトルデータへの属性データ

への結合が可能な形式での出力機能を備え、航空機LiDARによる観測データから迅速に施業シナリオに沿った利用診断が可能なシステムである。

具体的な応用例として、稲武フィールドを対象として、森林GIS及びLiDARデータから、今回はスギ・ヒノキ林を対象として、1回の本数間伐率の上限を30%とし、収量比数(Ry)を0.7~0.8の範囲で管理するという施業シナリオを設定し、対象林内の各区画の間伐時期・間伐率・伐採量等を推定した。

(4) シナリオ解析システムの拡張に関する検討

開発したシナリオ解析システム(プロトタイプ版)に、今後国内人工林に求められる様々な施業シナリオを追加すべく、航空機LiDAR観測により把握可能な各種空間情報を利用した針葉樹人工林の広葉樹林化適地抽出方法を検討するため、岐阜県加茂郡東白川村(民有林)のヒノキ人工林及び愛知県北設楽群段戸国有林(国有林)ヒノキ人工林・天然林を対象に、10mメッシュDEMと林小班ポリゴンを用いてGISで条件を重ね合わせ、広葉樹天然更新の適地不適地の判定を以下の条件を対象に検討した。

- 広葉樹林からの距離(広葉樹の侵入)
- 地形条件(目標樹種の生存): TWI(地形的な湿度度)・断面曲率

4. 研究成果

(1) 波形記録式航空機LiDARによる林相区分への応用可能性の検討

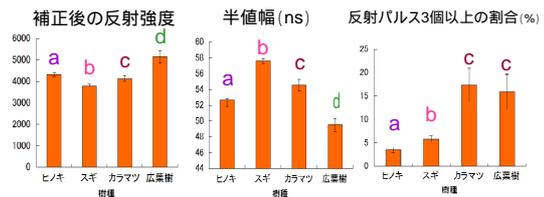


図3. LiDAR指標の樹種間比較結果

まず、各LiDAR指標の樹種間の比較結果では、距離補正後の反射強度、半値幅、反射パルス3個以上の割合に、いくつかの樹種間で有意な差が認められた($p < 0.05$)。

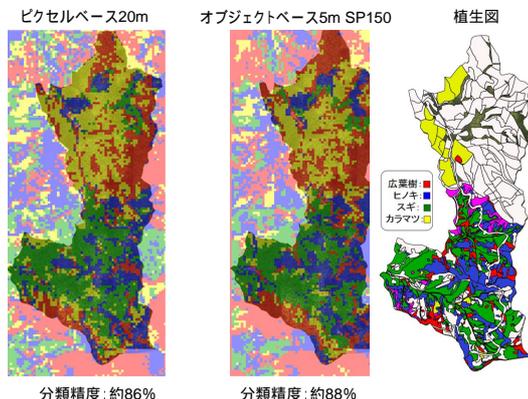


図4. LiDAR指標による樹種判別結果

次に、LiDAR 指標を算出するスケール（以下、解析スケールとする）が 2.5m から 5m において分類精度が向上したが、それ以降 20m 程度まで緩やかに分類精度は向上した。したがって、5m 未満の解析スケールは樹種分類に適さず、また 20m 以降の解析スケールは樹種分類精度の向上は期待できないことが示唆された。

この 5m から 20m の解析スケールにおける広域でのピクセルベース分類による樹種分類精度の検証結果では、5m では分類精度が約 78% となり、最高分類精度は 20m で約 86% であった。一方、オブジェクトベース分類では、5m の画像をセグメンテーションした場合に、分類精度は約 88% となり、ピクセルベースの場合よりも精度は高く（図 4）LiDAR 指標による樹種分類においてもオブジェクトベース分類は有効な手法であると考えられた。

（2）新たに単木レベルでの立木位置及び樹冠認識システムの開発

表 1. 単木検出精度の検証結果

プロット	実測 本数	新たなLiDARデータ解析システム				LiDAS							
		Correct (%)	Commission Error (%)	Omission Error (%)	本数	Correct (%)	Commission Error (%)	Omission Error (%)	本数				
I1	59	47	79.7	6	10.2	12	20.3	41	69.5	0	0.0	18	30.5
I2	51	37	72.5	3	5.9	14	27.5	29	56.9	2	3.9	12	23.5
I3	68	51	75.0	7	10.3	17	25.0	37	54.4	6	8.8	31	45.6
O1	34	32	94.1	2	5.9	2	5.9	32	94.1	2	5.9	2	5.9
D2	50	40	80.0	2	4.0	10	20.0	36	72.0	1	2.0	4	8.0
D3	34	30	88.2	3	8.8	4	11.8	25	73.5	3	8.8	9	26.5
D4	46	43	93.5	4	8.7	3	6.5	40	87.0	2	4.3	6	13.0
M1	60	29	48.3	0	0.0	31	51.7	9	15.0	0	0.0	51	85.0
M2	30	17	56.7	4	13.3	13	43.3	9	30.0	0	0.0	21	70.0
M3	31	31	100.0	7	22.6	0	0.0	14	45.2	0	0.0	17	54.8
M4	32	28	87.5	10	31.3	4	12.5	15	46.9	0	0.0	17	53.1
M5	29	27	93.1	8	27.6	2	6.9	15	51.7	2	6.9	14	48.3
M6	22	20	90.9	15	68.2	2	9.1	10	45.5	3	13.6	12	54.5

表 1 に示したように、本研究で提案した新たな解析システムによる立木抽出精度は、全体的に LiDAS システムよりも良好な結果を示した。ただし、LiDAS と比較して Commission Error が大きく、今後誤抽出された樹頂点の除去方法についても検討する必要が考えられた。また、両システムとも M1~M3 プロットにおいて、極端に抽出精度が低下しているが、これらのプロットは無間伐試験地内に設定されたプロットであった。以上のように、本研究で提案したシステムにより立木抽出精度は向上したが、特に無間林やそれに林分状態が近似する間伐遅れ林にも対応できるよう、今後も検討が必要であると考えられた。

（3）シナリオ解析システムの開発

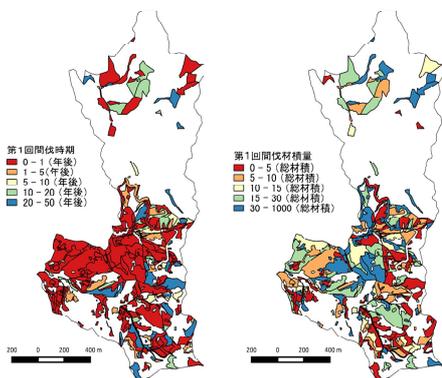


図 5. シナリオ解析結果

図 5 に示したシナリオ解析システム（プロトタイプ版）の解析例のように、間伐が必要な林分や間伐時の伐出可能材積等が容易に

把握可能となった。現状のシナリオ解析システムでは収量比数を基盤としているが、「樹幹表面積の保存則」と名付けた、過密な針葉樹人工林の場合、林分密度とは無関係に単位面積あたり樹幹表面積合計が一定かつ上限となる発見により、この樹幹表面積合計の上限値に対する実際の樹幹表面積合計の値の比は森林資源利用診断の有効な指標となりうることから、シナリオ解析システム（プロトタイプ版）に得られた知見を組み込むことにより、さらなる予測精度の向上や施業効果等の評価判断の有効性を高められると考えられる。

（4）シナリオ解析システムの拡張に関する検討

表 2. 適地判定結果

<地形条件判定区分>		<総合判定区分>	
		断面曲率 等直	地形
TWI	尾根		
	小		
	中	x	x
	大	x	x
			広葉樹林 からの距離
			x
			x
			x
			x

広葉樹林からの距離
: ~ 30m, : 30 ~ 100m, x : 100m ~

表 2 のように、地形条件を示すことで、その土地の潜在的可能性を明らかにすることができた。これらの指標は、DEM を活用することにより簡易な判定が可能であり、シナリオ解析システム（プロトタイプ版）へ組み込むことにより、将来的には広葉樹林施業への展開も考えられた。

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）

〔雑誌論文〕(計 13 件)

Inoue, A., S. Sakamoto, H. Kitazato and K. Sakuta, Development of two-way volume equation for bamboo, *Phyllostachys nigra*, Journal of Forest Planning, 査読有, Vol. 18, 2012, pp.13-19.

Inoue, A., K. Kuraoka and F. Kitahara, Mathematical expression for the relationship between internode number and internode length for bamboo, *Phyllostachys pubescens*, Journal of Forestry Research, 査読有, Vol. 23, 2012, pp.435-439

北里春香、井上昭夫、モウソウチクにおける竹稈および竹林レベルでの利用率の決定、日本森林学会誌、査読有、Vol.95、2013、pp.1-7、

<http://dx.doi.org/10.4005/jjfs.95.1>
Kosaka, S. and Yamada, Y., Evaluation of broadleaf tree diversity at the basin scale -In case of artificial *Chamaecyparis obtusa* forests-, Open Journal of Forestry, 査読有、Vol.3、2013、pp.62-65

Inoue, A., Culm form analysis for bamboo, *Phyllostachys pubescens*, Journal of Forestry Research, 査読有, Vol.24, 2013, pp.525-530

Inoue, A., S. Sakamoto, H. Suga, H. Kitazato and K. Sakuta, Construction of one-way volume table for the three major useful bamboos in Japan, Journal of Forestry Research, 査読有, Vol.18, 2013, pp.323-334

井上昭夫, 高岡華子, 溝上展也, 太田徹志, 作田耕太郎, 山本一清, 帯状伐採地における光環境の簡単な推定モデル, 日本森林学会誌, 査読有, Vol.95, 2013, pp. 245-252

Inoue, A. and Yamamoto, K., A method for estimating the stand density in an even-aged pure stand using hemispherical photography, Journal of Forest Planning, 査読有, Vol.19, 2013, pp.27-29

Kosaka, S. and Yamada, Y., Evaluation of Broadleaf Tree Diversity at the Basin Scale - In Case of Artificial *Chamaecyparis obtuse* Forests, Open Journal of Forestry, 査読有, Vol.3, 2013, pp.62-65

Yamada, Y. and Kosaka, S., An Evaluation Model for Improving Biodiversity in Artificial Coniferous Forests Invaded by Broadleaf Trees, Open Journal of Forestry, 査読有, Vol.3, 2013, pp.122-128

井上昭夫, 樹幹表面積と林分密度の自己間引き曲線, 森林計画学会誌, 査読有, Vol.48, 2014, pp.35-36

Yamamoto, K., Murase, Y., Etou, C. and Shibuya, K., Estimation of relative illuminance within forest using small-footprint airborne LiDAR, Journal of Forest Research, 査読有, Vol.20, 2015, pp. 321-327

Inoue, A. and Nishizono, T., Conservation rule of stem surface area: a hypothesis, European Journal of Forest Research, 査読有, Vol.134, 2015, 印刷中

[学会発表](計 15件)

萩原晟也, 村瀬泰久, 山本一清, 山下悟, 千田良道, 都竹正志, 波形記録式LiDARの反射パルス分析による森林の質的構造の把握 樹種分類への適用可能性の検討, 第2回中部森林学会大会, 2012年10月13日, 信州大学

梅藤幸太郎, 村瀬泰久, 山本一清, 航空機LiDARによる樹冠形変動の把握, 第2回中部森林学会大会, 2012年10月13日, 信州大学

香坂紗由実, 山田容三, 人工林内広葉樹

の多様性評価手法の検討 - 段戸国有林を対象として -, 第124回日本森林学会大会, 2013年3月25日~2013年3月28日, 岩手大学

近藤 稔, 中西正直, スカイウッドシュートの架設条件の検討, 第124回日本森林学会大会, 2013年3月25日~2013年3月28日, 岩手大学

渡邊優美, 山本一清, 3Dカメラによる林分調査手法の開発-テンプレート・マッチングによる立木位置推定可能性の検討-, 中部森林学会第3回大会, 2013年10月19日, 岐阜大学

山本一清, 近藤直人, 村瀬康久, 都竹正志, 村手直明, 江藤稚佳子, 渋谷研一, 航空機LiDARによるヒノキ人工林の質的特性把握(V)観測条件の差異による林内相対照度推定への影響について, 第125回日本森林学会大会, 2014年3月26日~2013年3月30日, 大宮ソニックシティ

渡邊優美, 山本一清, Dカメラによる林分調査手法の開発 -テンプレートマッチングによる立木位置推定精度の検討-, 第125回日本森林学会大会, 2014年3月26日~2014年3月30日, 大宮ソニックシティ

萩原晟也, 山本一清, 都竹正志, 村手直明, 波形記録式航空機LiDARによる森林の質的情報の把握 - ;解析スケールによる樹種分類精度への影響 -, 第125回日本森林学会大会, 2014年3月26日~2014年3月30日, 大宮ソニックシティ

Morimoto, R. and Yamada, Y., Evaluating the best locations in coniferous plantations for the natural regeneration of broadleaved forest, XXIV IUFRO World Congress 2014 Sustaining Forests, Sustaining People: The Role of Research, 2014年10月05日~2014年10月11日, Salt Lake City, UT, United States

萩原晟也, 山本一清, 吉田夏樹, 都竹正志, 波形記録式航空機LiDARによる林相区分への応用可能性の検討, 第126回日本森林学会大会, 2015年03月26日~2015年03月29日, 北海道大学

藤田裕史, 山本一清, 吉田夏樹, 都竹正志, 樹種間における航空機LiDARレーザー透過率と森林パラメータ間の関係比較, 第126回日本森林学会大会, 2015年03月26日~2015年03月29日, 北海道大学

梅藤幸太郎, 山本一清, 吉田夏樹, 都竹正志, 早期森林資源利用診断システムの開発 - 航空機LiDARによる人工林内未検出木抽出法についての検討 -, 第126回日本森林学会大会, 2015年03月26日~2015年03月29日, 北海道大学

山本一清, 梅藤幸太郎, 宇野女草太, 吉

田夏樹、都竹正志、早期森林資源利用診断システムの開発 林冠復元解析によるLiDAR データ解析システムの構築、第126回日本森林学会大会、2015年03月26日～2015年03月29日、北海道大学
脇谷すみれ、山田容三、伐採計画と人工林内に侵入した広葉樹多様性に関する研究、第126回日本森林学会大会、2015年03月26日～2015年03月29日、北海道大学
狩場晴也、山田容三、利用可能資源量とコストの面からのバイオマス供給量の予測～中南勢地域を対象として～、第126回日本森林学会大会、2015年03月26日～2015年03月29日、北海道大学

熊本県立大学・環境共生学部・准教授
研究者番号：80304202

(3) 連携研究者
()

研究者番号：

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 一清 (YAMAMOTO, Kazukiyo)
名古屋大学・生命農学研究科・准教授
研究者番号：40262430

(2) 研究分担者

山田 容三 (YAMADA, Yozo)
名古屋大学・生命農学研究科・准教授
研究者番号：00166745

近藤 稔 (KONDO, Minoru)
名古屋大学・生命農学研究科・助教
研究者番号：00166745

井上 昭夫 (INOUE, Akio)