

Environment Research and Technology Development Fund

環境省環境研究総合推進費終了研究等成果報告書

衛星リモートセンシングによる広域スケール生物多様性モニタリング
及び予測手法の開発
(1-1405)

平成26年度～平成28年度

Development of Satellite Remote Sensing Methods for Broad Scale Estimation
and Monitoring of Biodiversity

東京情報大学
東北学院大学
兵庫県立大学大学院
千葉県立中央博物館

平成29年5月

環境省
総合環境政策局総務課環境研究技術室
環境保健部環境安全課環境リスク評価室
地球環境局総務課研究調査室

衛星リモートセンシングによる
 広域スケール生物多様性モニタリング及び予測手法の開発
 (1-1405)

I. 成果の概要	. . . . .	i
1. はじめに (研究背景等)		
2. 研究開発目的		
3. 研究開発の方法		
4. 結果及び考察		
5. 本研究により得られた主な成果		
6. 研究成果の主な発表状況		
7. 研究者略歴		
II. 成果の詳細		
(1) 土地被覆解析結果の検証とシナリオ分析による将来予測 (東京情報大学)	. . . . .	1
要旨	. . . . .	1
1. はじめに	. . . . .	1
2. 研究開発目的	. . . . .	2
3. 研究開発方法	. . . . .	2
4. 結果及び考察	. . . . .	9
5. 本研究により得られた成果	. . . . .	1 1
6. 国際共同研究等の状況	. . . . .	1 1
7. 研究成果の発表状況	. . . . .	1 2
8. 引用文献	. . . . .	1 7
(2) 衛星データセットの作成手法と解析手法の開発 (東京情報大学)	. . . . .	1 8
要旨	. . . . .	1 8
1. はじめに	. . . . .	1 8
2. 研究開発目的	. . . . .	2 1
3. 研究開発方法	. . . . .	2 1
4. 結果及び考察	. . . . .	3 4
5. 本研究により得られた成果	. . . . .	6 0
6. 国際共同研究等の状況	. . . . .	6 1
7. 研究成果の発表状況	. . . . .	6 1
8. 引用文献	. . . . .	6 5
(3) 代表的植生域における現地検証 (千葉県立中央博物館)	. . . . .	6 9
要旨	. . . . .	6 9
1. はじめに	. . . . .	6 9
2. 研究開発目的	. . . . .	7 0
3. 研究開発方法	. . . . .	7 0
4. 結果及び考察	. . . . .	7 0
5. 本研究により得られた成果	. . . . .	7 7
6. 国際共同研究等の状況	. . . . .	7 8
7. 研究成果の発表状況	. . . . .	7 8
8. 引用文献	. . . . .	7 9

(4) 震災被災地における現地検証 (東北学院大学)	.....	81
要旨	.....	81
1. はじめに	.....	81
2. 研究開発目的	.....	82
3. 研究開発方法	.....	83
4. 結果及び考察	.....	84
5. 本研究により得られた成果	.....	88
6. 国際共同研究等の状況	.....	90
7. 研究成果の発表状況	.....	90
8. 引用文献	.....	93
 (5) 2.5万分の1植生図との検証 (兵庫県立大学大学院)	.....	95
要旨	.....	95
1. はじめに	.....	95
2. 研究開発目的	.....	95
3. 研究開発方法	.....	96
4. 結果及び考察	.....	96
5. 本研究により得られた成果	.....	103
6. 国際共同研究等の状況	.....	103
7. 研究成果の発表状況	.....	103
8. 引用文献	.....	105
 III. 英文Abstract	.....	107

課題名 1-1405 衛星リモートセンシングによる広域スケール生物多様性モニタリング及び予測手法の開発

課題代表者名 原 慶太郎（東京情報大学 総合情報学部 教授）

研究実施期間 平成26～28年度

累計予算額 78,061千円（うち平成28年度：22,954千円）
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 生物多様性、リモートセンシング、MODIS、土地被覆、植生図、モニタリング、将来予測、東日本大震災

研究体制

- (1)土地被覆解析結果の検証とシナリオ分析による将来予測（東京情報大学）
- (2)衛星データセットの作成手法と解析方法の開発（東京情報大学）
- (3)代表的植生域における現地検証（千葉県立中央博物館）
- (4)震災被災地における現地検証（東北学院大学）
- (5)2.5万分の1植生図との検証（兵庫県立大学大学院）

研究概要

1. はじめに(研究背景等)

2008年に我が国では生物多様性基本法が制定され、2012年9月には、生物多様性国家戦略2012-2020が閣議決定されている。2010年の生物多様性条約第10回締約国会議では「愛知目標」が採択されたが、この国家戦略にはその目標を達成するロードマップが示されている。生物多様性を保全するためには、地域ごとの生物多様性を迅速かつ的確にモニタリングし評価することが重要である。その中で、植生図や土地利用・土地被覆図などのような生物多様性を反映した地図作成は生物保全における主な目標の一つでもある(Myers et al., 2000)。我が国において、環境省の第6、7回自然環境保全基礎調査は2000年から植生図の全国整備を進めているが、研究構想時点である2014年3月における整備率は68%に留まっており(2017年3月時点で79%)、全国の整備に20年以上を費やすなどの問題が指摘されている。

衛星リモートセンシングは、広域かつ迅速に土地被覆動態の抽出が可能で、様々な空間スケールにある生物多様性をモニタリングするために有用な手段である。NOAA/AVHRRによる地球規模の植生分布、植生変動に関する研究(Loveland et al., 1991, 1997, 2000; 小林・建石, 2007)が急速に進んだが、現時点では、日本全土を対象とする広域的モニタリングには、NASAの衛星TerraとAquaのMODISデータが有効である。これらのデータを用いた全球レベルの研究成果はあるが、土地利用や植生分布が多様である東アジアの土地被覆に関する成果は極めて限られている。本研究は、生物多様性を指標し、かつ生物多様性に影響を与える人為などの影響を表すものとして植生を位置付け、全国スケールで、植生現況を表現する地図を作成し、かつ短期間で更新する手法を開発するものである。さらに、その結果を用いて、将来の植生分布の予測を行なうものである。

2. 研究開発目的

本研究では、①衛星リモートセンシングデータを用いて全国をカバーできるような土地被覆図を作成し生物多様性を指標する植生現況を図化すること、②それを3～5年周期で実現する手法を確立すること、③シナリオ分析による将来予測に基づいて土地被覆変化を予測し、全国スケールにおける生物多様性保全に資すること、を目的とした。

(1)土地被覆解析結果の検証とシナリオ分析による将来予測(サブテーマ1)

サブテーマ2のコンポジット期間や土地被覆分類手法の検討に加わり、適切なデータセットを作成し、分類手法を確立することと、リモートセンシングによる分類結果をもとにして、気候変動のシナリオの違いによって、落葉広葉樹林の代表的構成種であるブナ群落の分布がどのように変化するかについて予測することを目的とした。

(2)衛星データセットの作成手法と解析方法の開発(サブテーマ2)

本学で管理している網走・千葉・宮古島の受信局のMODISデータを用いて大気補正処理を行い、データセットを整備したTerra/MODISを用いて日本全国レベルの土地被覆動態のモニタリング及び環境省の第6、7回自然環境保全基礎調査植生図を補完できるような土地被覆図(植生現況図)を整備し定期的に更新することを目的とした。

(3) 代表的植生域における現地検証(サブテーマ3)

我が国の植生帯ごとの代表的な植生を抽出し、リモートセンシングのグランドトゥールース(地上検証)として相応しいテストサイトを設定し、既存資料などから現地の植生状況を示す。平成26年度は、東北地方の代表的植生タイプである落葉広葉樹林が卓越し、優占種が地域によって異なる北上山地を対象として、現地調査と既存の植生情報の調査を実施して植生状況を明らかにし、リモートセンシング解析の現地検証とすることを目的とした。

(4) 震災被災地における現地検証(サブテーマ4)

東日本大震災の大津波被災地では、震災そのものとその後の復旧・復興事業によって、土地被覆の変化が急速かつ広域的に進んでいる。ここで「自然環境や地域社会がいかなる攪乱を受け、再生・改変が進んだのか」を精査・記録することは、今後の減災・防災施策のあり方や持続可能な地域構築を検討する上で大きな意義を有する。仙台湾南部海岸域を主対象として、MODISの空間分解能で把握できる土地被覆の様態と変化について、新たな解析手法の開発を含めて検討する。

(5) 2.5万分の1植生図との検証(サブテーマ5)

MODISデータから作成した土地被覆分類図を植生現況図に読み替える際、自然環境保全基礎調査による2.5万分の1植生図との植生分類の階層間の整理を行い、今後のこの成果の展開や課題を整理することを目的とした。

3. 研究開発の方法

(1) 土地被覆解析結果の検証とシナリオ分析による将来予測

将来の気候変動下では、植生の分布が変化することが予想される。本研究では、MODISデータから作成された植生現況図から抽出したブナ優占群落の在不在を従属変数として、現在の気候条件、および、地形条件を独立変数として、ブナ優占群落の分布を説明するモデルを構築した。このモデルと、将来の気候変動シナリオにもとづく気候条件をもとに、将来におけるブナ優占群落の分布適地の予測図を作成した。モデルでは、4つの気候条件(最寒月の平均日最低気温、暖かさの指数、冬季降水量、夏季降水量)と、5つの地形条件(地形、表層地質、土壌、斜面方位、斜度)を独立変数とした。

(2) 衛星データセットの作成手法と解析方法の開発

本研究では、地球温暖化問題の解明や自然災害からの再建計画、生物多様性の保全などに資するリモートセンシングの活用と植生図作成の開発の一環として自然環境保全基礎調査に基づいて作成された環境省の植生図の整備と更新頻度の向上を目的に、時間分解能が高く、継続的かつ広域的に全国の地表面を観測したMODIS受信データを解析に活用するためのデータセットを作成した。そして、作成したデータセットと環境省の植生図、RapidEyeやLandsatなどのほかの衛星データを組み合わせた植生現況図の作成、土地被覆の変化の検出、さらに、GRVIやNDVI、NDWIなどの植生指数と気象観測データと標高データ、および開葉予測モデルを組み合わせた解析から、相観レベルの下の階層クラスの識別について検討した。

(3) 代表的植生域における現地検証

我が国の植生帯ごとの代表的な植生を抽出し、リモートセンシングのグランドトゥールース(地上検証)として相応しいテストサイトを設定し、現地踏査と既存資料などから現地の植生状況を示し、MODISの解析結果について検証する。

(4) 震災被災地における現地検証

東日本大震災の大津波被災地では、震災そのものとその後の復旧・復興事業によって急激かつ広域的に進んでいる。初年度は、仙台湾岸地域を対象としてMODISデータを参照しながら、グランドトゥールースおよび既存データの収集・分析を行い、MODISの空間分解能で把握できる土地被覆の状況と変化を明らかにする。

(5) 2.5万分の1植生図との検証

MODISデータによる全国スケールの土地被覆図の分類クラスと環境省の自然環境保全基礎調査で実施してきた既存植生図の凡例との照合を検討し、全国植生現況図に相応しい凡例案を提示する。

4. 結果及び考察

(1) 土地被覆解析結果の検証とシナリオ分析による将来予測

現在のブナ優占群落を説明する独立変数のうち、最も重要度が高いのは冬季降水量であり、それに続いて、

暖かさの指数、地形、夏季降水量、最寒月の平均日最低気温の順に重要度が高かった。特に、冬季降水量が高いことから、今回のモデルは、太平洋側に比べて多雪である日本海側にブナ林が広く分布する特徴を再現できていると考えられた。将来の気候変動シナリオごとの気候条件をもとに、今回構築したモデルを用いてブナ優占群落の分布適地を地図化すると、低排出シナリオ、高排出シナリオともに分布適地メッシュ数が大きく減少すると考えられた。特に西日本においては、ほぼすべてのメッシュが分布適地ではなくなった。東日本では、低排出シナリオで半数以下、高排出シナリオではさらに大部分の分布適地が消失した。北海道においては、両方のシナリオにおいて分布適地となるメッシュ数が増加した。

(2) 衛星データセットの作成手法と解析方法の開発

本研究の結果、雲を除去した月別コンポジットデータを用いて作成した東日本と西日本の植生現況図を統合した2013年と2014年の全国植生現況図を作成し、南相馬市における土地被覆分類結果より、震災前後で農地面積が4245.5 haから369.8 haに減少、草地面積が3363.5 haから9792.6 haに増加したことを明らかにした。また、北海道の道東地方で平均標高が100~300 m、10月の平均気温が14~15℃、11月の平均気温が7.5~8.5℃の条件において、黄葉を含んだカラマツ人工林のGRVI値(-0.1付近)、カラマツ人工林よりも落葉が進行した落葉広葉樹林のGRVI値(0付近)が観測された。さらに、東北地方のブナ群落とコナラ-ミズナラ群落の優占群落間で開葉に要する積算温度は43℃程度の差が見られたことから、森林タイプ間の落葉の時期の差異と優占群落間の開葉の時期の差異をMODISが観測していることを示し、植生フェノロジーの差異による相観レベルの下の階層クラスの識別を明らかにした。

(3) 代表的植生域における現地検証

東北地方北上山地に広がる広葉樹林(ブナ、ミズナラ、コナラ林)域を対象として現地調査と既存データの収集・分析を実施した。グランドトゥールースとして相応しいテストサイトを設定するとともに、北上山地の植生分布パターンを確認した。

(4) 震災被災地における現地検証

東日本大震災の大津波被災地である仙台湾岸地域を中心に現地調査し、MODISデータによる解析のグランドトゥールースデータを取得した。震災後の復興事業が進む仙台湾岸域で、MODISデータの分解能で把握できる土地被覆の状況と変化を明らかにした。仙台湾と東北地方北部の海岸域で、MODISデータによる土地被覆分類に資するグランドトゥールースを実施した。復興工事が各所で展開されている仙台湾南部海岸域で、「湾岸スケールから海岸エコトンスケール、生態系・植生タイプスケールに至るマルチスケールな視座」からグランドトゥールースと文献・調査事例情報の収集を行った。FFTプロファイル補正とOMD法を導入したフェノロジカルな解析手法を考案し、大津波被災地後の植生変化が抽出できた。

(5) 2.5万分の1植生図との検証

2001年および2013年のMODISデータを用いて作成した全国スケールの土地被覆図の分類クラスと環境省の自然環境保全基礎調査で実施してきた5万分の1植生図の凡例との照合を検討し、淡路島全土の2.5万分の1植生図を用いて精度検証を行った

マツ枯れによりクロマツ・アカマツ群落からコナラ群落への変化が著しく、ウバメガシ群落への変化も認められた。また竹林拡大も生じており、地形により境界線の区別が容易な農耕地への拡大と、同一斜面上の二次林、特にアベマキ-コナラ群集への変化が認められ、植生判読には地形図および詳細スケールの空中写真の併用が有効であると考えられた。2.5万分の1植生図のラスタ化によりアカガシ、スタジイ・コジイ、ウバメガシ自然林の分布パターンが明確になるなど、植生分類図に対応すべき情報が抽出され、凡例検討の基礎資料を得ることができた。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

MODISデータを分類して作成された日本全国スケールの植生現況図から、ブナ優占群落などの相観植生よりも下位の分類クラスを抽出し、気候変動シナリオをもとに将来の植生分布図を作成できることを示した。

これまでに衛星リモートセンシングを活用した植生現況図の作成には、森林タイプなどの分類において、植生の環境に伴った季節変化による森林の反射特性の影響などの解決すべき課題があり、時間分解能の高いMODISが日々観測しているデータから森林タイプ間の植生フェノロジーの差異を検出するため、気象観測データや標高データ、可視域と赤外域の異なる波長帯を用いた植生評価、開葉予測モデルを組み合わせたビッグデータ解析によって、相観レベルの下の階層クラスを識別できることを示した。

また、2011年3月に起きた東日本大震災における被災状況及び震災後の土地被覆変化の把握は、東北地方における地域再生・復興計画と生物多様性保全の上で重要な課題である。今期は、MODISデータを用いて被災地域全体をカバーする震災前と震災後の状況を広域的に把握した。さらに、本研究における解析の中間成果物である、異なる時間・空間分解能と分光特性をもつ衛星データ(Landsat, RapidEyeなど)を用いて被災地を中心とした土地被覆動態と景観構造の解析結果を用いることで、震災が当該地域の生態系に与えた影響や必要とされる対応策の策定に重要な役割を果たせるものとする。

(2) 環境政策への貢献

本学で受信しているMODISデータを用いて、これまで環境省で推進してきた第6、7回自然環境保全基礎調査の2.5万分の1植生図を補完するものとして、全国植生現況図(2014年版)を作成し、全国レベルの全国植生現況図を作成、3～5年単位での定期的な更新が可能となる手法を開発した。これにより、国土全体の生物多様性の現況を把握しモニタリングすることが可能になり、効果的な保全施策を展開させることに役立てることができる。また、それらの結果を元にして全国スケールの植生動態の将来予測の基礎データとしても活用することができ、生物多様性を確保した自然共生型社会の実現など、今後の環境政策に有用な知見を提供できる。また、東日本大震災被災地での解析によって、衛星リモートセンシングを用いることで、震災が当該地域の生態系に与えた影響や必要とされる対応策の策定に重要な知見を提供可能であることを示した。

<行政が既に活用した成果>

環境省自然環境保全基礎調査分科会(H28)において、本研究の成果である衛星リモートセンシングを用いた広域スケール植生モニタリングの知見を委員に説明した。

千葉県生物多様性センターと連携大学との研究成果発表会(H28)で、野生生物の保護管理のための空間情報整備のテーマで衛星リモートセンシングを用いた成果を報告した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

成果の一つであるMODISを用いた全国植生現況図は、生物多様性に関する全国スケールの評価(JBOなど)に貢献できる可能性がある。

成果の一つである異なった分解能の衛星リモートセンシングによる震災被災域の土地被覆の分類は、当該地域の生態系モニタリングに貢献できる可能性がある。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、原田一平、富田瑞樹: 写真測量とリモートセンシング, 54, 3, 133-140(2015年)
「MTFを用いたMODIS期間合成画像の空間精度の評価」
- 2) 岡浩平、平吹喜彦: 日本緑化工学会誌, 41, 1, 79-84(2015年)
「津波で攪乱された海岸林内の根返り跡に成立した湿地植生と微環境特性」
- 3) K. Hara, Y. Zhao, I. Harada, M. Tomita, J. Park, E. Jung, N. Kamagata, Y. Hirabuki: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-7/W3, 805-809 (2015).
“Multi-scale monitoring of landscape change after the 2011 Tsunami.”
- 4) I. Harada, K. Hara, J. Park, I. Asanuma, M. Tomita, D. Hasegawa and M. Fujihara: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-7/W3, 403-408 (2015).
“Monitoring of rapid land cover changes in eastern Japan using Terra/MODIS data.”
- 5) H. Hirayama, M. Tomita, K. Hara: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B8, 883-887 (2016).
“Prediction of changes in vegetation distribution under climate change scenarios using MODIS dataset.”
- 6) J. Park, I. Harada, and Y. Kwak: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B8, 1003-1007 (2016).
“Object-based classification and change detection of Hokkaido, Japan.”
- 7) R. C. Sharma, K. Hara, H. Hirayama, I. Harada, D. Hasegawa, M. Tomita, J. Park, I. Asanuma, K. M. Short, M. Hara, Y. Hirabuki, M. Fujihara, R. Tateishi: Advances in Remote Sensing, 11pp (2017) (accepted).

“Production of Multi-features Driven Nationwide Vegetation Physiognomic Map and Comparison to MODIS Land Cover Type product.”

- 8) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹: 写真測量とリモートセンシング, 56, 1, 4-13 (2017年)
「Terra/MODISを用いた北海道道東地方における落葉期のカラマツ人工林と落葉広葉樹林の植生フェノロジーの差異の検出」

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 富田瑞樹: 『生態学が語る東日本大震災 - 自然界に何が起きたのか-』(日本生態学会東北地区会編), 130-136, 文一総合出版(2016)
「津波後の海岸林に残された生物学的遺産」
- 2) 原慶太郎: 『生態学が語る東日本大震災 - 自然界に何が起きたのか-』(日本生態学会東北地区会編), 23-28, 文一総合出版(2016)
「宇宙からの目がとらえた津波前後の沿岸生態系の変化」
- 3) 平吹喜彦: 『生態学が語る東日本大震災 - 自然界に何が起きたのか-』(日本生態学会東北地区会編), 172-176, 文一総合出版(2016)
「地域復興と減災・防災対策に「海岸エコトーン」という視点を」
- 4) M. Tomita, Y. Hirabuki, H. Kanno, K. Hara: Ecological impacts of tsunamis on coastal ecosystems: Lessons from the Great East Japan Earthquake (eds. J. Urabe, T. Nakashizuka), 383-394, Springer (2016)
“Influences of large, infrequent disturbance caused by tsunami on coastal forest communities.”
- 5) K. Hara, Y. Zhao, M. Tomita, N. Kamagata, Y. Li: Ecological impacts of tsunamis on coastal ecosystems: Lessons from the Great East Japan Earthquake (eds. J. Urabe, T. Nakashizuka), 253-269, Springer (2016)
“Impact of the 2011 earthquake and tsunami on coastal vegetation and landscapes in Northeast Japan: Findings based on remotely sensed data analysis.”

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) K. Hara, Y. Zhao, M. Tomita, N. Kamagata & Y. Hirabuki: The 57th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Perth, Australia, September 2014
“Remote sensing analysis of tsunami damage and recovery process of coastal vegetation in northeast Japan.”
- 2) M. Fujihara, K. Ito, I. Harada, M. Tomita, and K. Hara: The 57th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Perth, Australia, September 2014
“Assessment of the dynamics of vegetation boundaries as depicted by vegetation mapping based on aerial photographs and satellite remote sensing.”
- 3) Y. Hirabuki, M. Tomita, H. Kanno, Y. Zhao, K. Hara and I. Harada: The 4th International Conference of Urban Biodiversity and Design, Incheon, Korea, October 2014
“Vegetation dynamics following the 2011 huge-earthquake/tsunami disturbance in an urban coastal ecotone.”
- 4) 藤原道郎、伊藤休一: 植生学会第19回大会(2014年10月)
「変化の著しい植生域における植生図化に関する研究—変化の著しい隣接群落境界に関する研究—」
- 5) 原田一平、原慶太郎、朴鍾杰、浅沼市男、富田瑞樹、長谷川大輔、原正利、平吹喜彦、藤原道郎: 日本リモートセンシング学会第57回学術講演会(2014年11月)
「Terra/MODISを用いた日本における植生図化手法の開発」
- 6) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、原田一平: 日本写真測量学会平成26年度秋季学術講演会(2014年11月)
「MODIS期間合成画像の空間精度の評価」
- 7) 平吹喜彦、原慶太郎、富田瑞樹、西廣淳、岡浩平、菅野洋、杉山多喜子、滝口政彦: 日本生態学会東北地区会第59回大会(2014年12月)
「仙台市東縁の砂浜海岸エコトーンにおける植生の動態と保全・修復活動」
- 8) 平吹喜彦、南蒲生/砂浜海岸エコトーンモニタリングネットワーク: 日本生態学会第62回全国大会(2015年3月)

- 「仙台湾南部海岸エコトーン」の4年間とこれから: 自然環境の自律的再生と復興工事」
- 9) 藤原道郎、伊藤休一、原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、原正利、平吹喜彦: 日本生態学会第 62 回全国大会 (2015 年 3 月)
「衛星リモートセンシングによる植生図化のための2.5万分の1植生図凡例の検討」
- 10) Y. Kim, J. Park, I. Asanuma: The International Symposium on Remote Sensing 2015, Tainan, Taiwan, April 2015
“Mapping of coverage of paddy fields over Hokkaido using MODIS data.”
- 11) K. Hara, Y. Zhao, I. Harada, M. Tomita, J. Park, E. Jung, N. Kamagata, Y. Hirabuki: The 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Berlin, Germany, May 2015
“Multi-scale monitoring of landscape change after the 2011 Tsunami.”
- 12) I. Harada, K. Hara, J. Park, I. Asanuma, M. Tomita, D. Hasegawa and M. Fujihara: The 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Berlin, Germany, May 2015
“Monitoring of rapid land cover changes in eastern Japan using Terra/MODIS data.”
- 13) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平: 日本写真測量学会平成 27 年度年次学術講演会 (2015 年 5 月)
「衛星画像量子化による土地被覆分類への影響」
- 14) 金榮煥、朴鍾杰、浅沼市男: 日本リモートセンシング学会第 58 回学術講演会 (2015 年 6 月)
「MODISを用いた北海道の水田抽出」
- 15) 原田一平、原慶太郎、浅沼市男、朴鍾杰、富田瑞樹、長谷川大輔: 日本リモートセンシング学会第 58 回学術講演会 (2015 年 6 月)
「南相馬市における土地被覆動態のモニタリング」
- 16) 富田瑞樹、菅野洋、平吹喜彦、原慶太郎: 日本景観生態学会第 25 回全国大会北九州大会 (2015 年 6 月)
「津波による攪乱後の樹木群集に攪乱前の履歴が与える影響 - 仙台平野を例に -」
- 17) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎: 日本景観生態学会第 25 回全国大会北九州大会 (2015 年 6 月)
「生物多様性評価のための衛星リモートセンシングによる広域スケール植生現況図作成」
- 18) 藤原道郎、伊藤休一: 日本景観生態学会第 25 回全国大会北九州大会 (2015 年 6 月)
「2.5万分の1植生図を用いた竹林分布と隣接植生の検討および竹の利活用への応用」
- 19) Y. Hirabuki, M. Tomita, H. Kanno, J. Nishihiro, K. Oka, K. Hara, Y. Zhao and I. Harada: The 9th International Association for Landscape Ecology World Congress, Portland, Oregon, USA, July 2015
“Rapid and Heterogeneous Vegetation Recovery Following the 2011 Earthquake/Tsunami: New Findings Supporting Integrated Coastal-Ecotone Management.”
- 20) M. Tomita, H. Kanno, Y. Hirabuki and K. Hara: The 9th International Association for Landscape Ecology World Congress, Portland, Oregon, USA, July 2015
“Distribution of remnant forests and tree communities in the 2011 tsunami-inundated area, Sendai Japan.”
- 21) 岡浩平、平吹喜彦: 第 46 回日本緑化工学会大会 (2015 年 9 月)
「津波で攪乱された海岸林内の根返り跡に成立した湿地植生と微環境特性」
- 22) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎: 植生学会第 20 回大会 (2015 年 10 月)
「衛星リモートセンシングデータを用いた広域スケール植生図化手法の開発」
- 23) 平吹喜彦、岡浩平、菅野洋、南蒲生/砂浜海岸エコトーンモニタリングネットワーク、北の里浜 花のかけはしネットワーク、緑を守り育てる宮城県連絡会議: 植生学会第 20 回大会 (2015 年 10 月)
「仙台湾南部海岸の復興工事エリアにおける在来砂浜植物の生育状況と生態緑化活動」
- 24) 藤原道郎、伊藤休一、原田一平、原慶太郎、富田瑞樹: 植生学会第 20 回大会 (2015 年 10 月)
「広域植生図における詳細植生図の情報」
- 25) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平: 日本写真測量学会平成 27 年度秋季学術講演会 (2015 年 10 月)
「カラマツとシラカンバの分光特性の検討」
- 26) 岡浩平、平吹喜彦: 平成 27 年度日本海岸林学会金沢大会 (2015 年 10 月)
「仙台湾沿岸名取地区における盛土回避による海浜植物の保全効果」
- 27) 原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎: 日本リモートセンシング学会第 59 回学術講演会 (2015 年 11 月)

- 「Terra/MODISを用いた日本における植生図化手法の開発(その2)」
- 28) 朴鍾杰、金榮煥、原田一平: 日本リモートセンシング学会第 59 回学術講演会(2015 年 11 月)
「MODISデータを用いたObject-Based解析による北海道の植生分類」
- 29) 平吹喜彦: 自然再生フォーラム「仙台湾岸に学ぶ激甚災害後の砂浜植生の再生と保全」(日本生態学会生態系管理専門委員会主催)(2015 年 11 月)
「激甚災害後の海岸エコトーンの復旧・復興 一生態系の回復と保全における課題一」
- 30) J. Park, Y. Kim, Y. Kwak: 2015 American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, San Francisco, California, USA, December 2015
“Object-Based Analysis and Change Detection of Paddy Field at Hokkaido, Japan.”
- 31) 原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎: 第 16 回自然環境復元学会全国大会(2016 年 2 月)
「Terra/MODIS を用いた日本における広葉樹林の分布について」
- 32) 平吹喜彦、南蒲生/砂浜海岸エコトーンモニタリングネットワーク、北の里浜 花のかけはしネットワーク、緑を守り育てる宮城県連絡会議: 第 16 回自然環境復元学会全国大会(2016 年 2 月)
「東日本大震災で被災した仙台市新浜海岸における植生保全・地域復興活動」
- 33) 平山英毅、富田瑞樹、原慶太郎、平吹喜彦: 第 16 回自然環境復元学会全国大会(2016 年 2 月)
「仙台湾沿岸域における東日本大震災前後の森林パッチの抽出と連結性」
- 34) 原田一平、堀内雄太、宮原喜彦、浅沼市男、原慶太郎: 日本地理学会 2016 年春季学術大会(2016 年 3 月)
「南相馬市における非耕作農地の土壌放射性物質の濃度変化」
- 35) 平吹喜彦: 第 19 回日本生態学会公開講演会「生態学から見た東日本大震災」(2016 年 3 月)
「豊かさの持続:よみがえる海浜生態系に学ぶ」
- 36) 富田瑞樹、菅野洋、平吹喜彦、原慶太郎: 第 63 回日本生態学会大会(2016 年 3 月)
「分断化景観における樹木群集の組成に履歴が与える影響」
- 37) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎: 第 63 回日本生態学会大会(2016 年 3 月)
「生物多様性評価のためのMODISデータによる日本全土の植生現況図作成」
- 38) 平吹喜彦、菅野洋、鈴木建司朗、佐藤愛実、鈴木大駿、佐々木将、岡浩平、富田瑞樹、原慶太郎: 第 63 回日本生態学会大会(2016 年 3 月)
「被災から5成育期目の南蒲生/砂浜海岸エコトーンにおける多様な立地と更新樹木集団」
- 39) 原田一平、原慶太郎、浅沼市男、朴鍾杰、富田瑞樹、長谷川大輔: 日本リモートセンシング学会第 60 回学術講演会(2016 年 5 月)
「南相馬市における土地被覆動態のモニタリング(その2)」
- 40) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平: 日本写真測量学会平成 28 年度年次学術講演会(2016 年 5 月)
「落葉樹林間の期間合成データにおける植生フェノロジーの観測」
- 41) 平吹喜彦、富田瑞樹、菅野洋、岡浩平、原慶太郎: 日本景観生態学会第 26 回全国大会北海道大会(2016 年 7 月)
「南蒲生/砂浜海岸エコトーンにおける林木種集団の自律的再生と復興・防災事業再考」
- 42) 平吹喜彦、富田瑞樹、菅野洋、岡浩平、原慶太郎: 日本景観生態学会第 26 回全国大会北海道大会ポストイベント「北の海辺で考える砂浜海岸とのつきあい方」ミニシンポジウム(2016 年 7 月)
「防潮堤・海岸林の復旧事業に揺れる仙台平野の砂浜海岸」
- 43) 平山英毅、富田瑞樹、原慶太郎: 日本景観生態学会第 26 回全国大会北海道大会(2016 年 7 月)
「東日本大震災前後の仙台湾沿岸域における連結性を用いた森林パッチの空間的分布の重要度評価」
- 44) 藤原道郎、原田一平、原慶太郎、富田瑞樹: 日本景観生態学会第 26 回全国大会北海道大会(2016 年 7 月)
「組成を基にした植生図の凡例を活かした広域植生図の検討」
- 45) H. Hirayama, M. Tomita, K. Hara: XXIII the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Congress, Prague, Czech Republic, July 2016
“Prediction of changes in vegetation distribution under climate change scenarios using MODIS dataset.”
- 46) J. Park, I. Harada, and Y. Kwak: XXIII the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Congress, Prague, Czech Republic, July 2016
“Object-based classification and change detection of Hokkaido, Japan.”

- 47) M. Fujihara, K. Ito, I. Harada, K. Hara, M. Tomita: The 5th International EcoSummit Congress, Montpellier, France, August 2016
 “Comparison of vegetation type and its distribution derived from vegetation mapping based on phytosociology and satellite remote sensing.”
- 48) M. Tomita, H. Kanno, Y. Hirabuki, K. Hara: The 5th International EcoSummit Congress, Montpellier, France, August 2016
 “Species composition and spatial distribution of remnant forests in the 2011 tsunami-inundated area, Sendai Japan”
- 49) 平吹喜彦、富田瑞樹、菅野洋、鈴木大駿、岡浩平、原慶太郎: 植生学会第21回大会(2016年10月)
 「南蒲生/砂浜海岸エコトーンにおける林冠樹種集団の動態: 東日本大震災に伴う攪乱と自律的再生」
- 50) 金榮煥、朴鍾杰、浅沼市男: 日本写真測量学会平成28年度秋季学術講演会(2016年11月)
 「MODISデータを用いた気候帯による植生分類手法の検討」
- 51) 朴鍾杰、浅沼市男、郭榮珠: 日本写真測量学会平成28年度秋季学術講演会(2016年11月)
 「オブジェクトベースによる地震被災建物の判別」
- 52) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平: 日本写真測量学会平成28年度秋季学術講演会(2016年11月)
 「異なるMODIS期間合成データを用いた植生現況図の作成」
- 53) 平山英毅、原慶太郎、富田瑞樹: 日本写真測量学会平成28年度秋季学術講演会(2016年11月)
 「仙台湾沿岸域における震災に伴う森林パッチの連結性変化の定量的評価」
- 54) 平吹喜彦、富田瑞樹、菅野洋、鈴木大駿、岡浩平、原慶太郎: 第63回海岸工学講演会(2016年11月)
 「東日本大震災に伴う砂浜海岸エコトーンの攪乱と回復」
- 55) J. Park, E. Nunohiro and S. Park: The Twenty-Second International Symposium on Artificial Life and Robotics 2017 (AROB 22nd 2017), Beppu, JAPAN, January 2017
 “Increase of methane emission globally and environmental education of Japan”
- 56) J. Park, M. Hanada, H. Kanemitsu and E. Nunohiro: 2017 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, Guam, USA, February 2017
 “Study on noise extraction and correction of time series satellite profile data using parallel distributed system”
- 57) 富田瑞樹、菅野洋、平吹喜彦、原慶太郎: 第64回日本生態学会全国大会(2017年3月)
 「大規模攪乱後に残存した樹木群集の組成と立地環境の関係」

7. 研究者略歴

課題代表者: 原 慶太郎

東北大学大学院理学研究科修了、理学博士、現在、東京情報大学総合情報学部教授

研究分担者

1) 富田 瑞樹

東北大学大学院農学研究科修了、博士(農学)、現在、東京情報大学総合情報学部准教授

2) 浅沼 市男

千葉大学大学院工学研究科修了、工学博士、現在、東京情報大学総合情報学部教授

3) 原 正利

東北大学大学院理学研究科修了、理学博士、現在、千葉県立中央博物館主任研究員

4) 平吹 喜彦

東北大学理学部生物学科卒業、理学博士、現在、東北学院大学教養学部教授

5) 藤原 道郎

広島大学大学院理学研究科修了、理学博士、現在、兵庫県立大学大学院緑環境景観マネジメント研究科教授

1-1405 衛星リモートセンシングによる広域スケール生物多様性モニタリング及び予測手法の開発

(1) 土地被覆解析結果の検証とシナリオ分析による将来予測

東京情報大学

総合情報学部

原 慶太郎

総合情報学部

富田 瑞樹

<研究協力者>

東京情報大学大学院総合情報学研究科

平山 英毅（平成27～28年度）

平成26(開始年度)～28年度累計予算額：29,289千円（うち平成28年度：4,456千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

将来の気候変動下では、植生の分布が変化することが予想される。本研究では、MODISデータから作成された植生現況図から抽出したブナ優占群落の在不在を従属変数として、現在の気候条件、および、地形条件を独立変数として、ブナ優占群落の分布を説明するモデルを構築した。このモデルと、将来の気候変動シナリオにもとづく気候条件をもとに、将来におけるブナ優占群落の分布適地の予測図を作成した。モデルでは、4つの気候条件（最寒月の平均日最低気温、暖かさの指数、冬季降水量、夏季降水量）と、5つの地形条件（地形、表層地質、土壌、斜面方位、斜度）を独立変数とした。現在のブナ優占群落を説明する独立変数のうち、最も重要度が高いのは冬季降水量であり、それに続いて、暖かさの指数、地形、夏季降水量、最寒月の平均日最低気温の順に重要度が高かった。特に、冬季降水量が高いことから、今回のモデルは、太平洋側に比べて多雪である日本海側にブナ林が広く分布する特徴を再現できていると考えられた。将来の気候変動シナリオごとの気候条件をもとに、今回構築したモデルを用いてブナ優占群落の分布適地を地図化すると、低排出シナリオ、高排出シナリオともに分布適地メッシュ数が大きく減少すると考えられた。特に西日本においては、ほぼすべてのメッシュが分布適地ではなくなった。東日本では、低排出シナリオで半数以下、高排出シナリオではさらに大部分の分布適地が消失した。北海道においては、両方のシナリオにおいて分布適地となるメッシュ数が増加した。

[キーワード]

MODIS、植生図、ブナ優占群落、気候変動シナリオ

1. はじめに

IPCC第4次評価報告書統合報告書によると気候変動に伴う気温上昇が予測され、21世紀末における世界平均地上気温は約1.8～4.0℃上昇すると言われている¹⁾。この気候変動は、気温の上昇のみ

ならず、気温上昇に伴う降水量や積雪量、降水や積雪の時期を変化させることによって、さまざまな生態系に強く影響することが懸念されている。

こうした気候変動に伴う生態系の変化に関する研究として、森林植生の分布域の変化を予測することを目的とした天然林の潜在分布域（特にブナ林の成立に適する地域）のモデル化と、そのモデルを用いた分布域の変化の予測が行われてきた^{2),3)}。このような分布予測モデルを用いることによって、将来における森林植生の分布予測図の作成や、分布の変化がもたらす影響への対応計画の策定などに利用することが期待できる。

これまでの潜在分布域を予測する研究に用いられてきた植生図のデータは、環境省による自然環境保全基礎調査によるものである。このデータは空中写真や衛星写真等を用いた植生判読と、現地調査により作成されたものであり、さまざまな研究に利用されている。一方で、このデータは、現地調査が困難な地域（アプローチの困難な山岳地帯など）についての情報不足や、植生図の精度を保つための詳細なフィールド調査に起因する更新頻度の低さが課題とされてきた。たとえば、第5回自然環境保全基礎調査の調査時期は1994年から1998年であり、19～23年前の現地調査にもとづいて作成された植生図が公開・利用されている。日本全国レベルでの現地調査の困難さに起因する植生図の精度不足や、更新頻度の低さなどが指摘されるなか、近年はリモートセンシングを主軸とした広域かつ即時的な植生図の整備に期待が寄せられつつある⁴⁾。

2. 研究開発目的

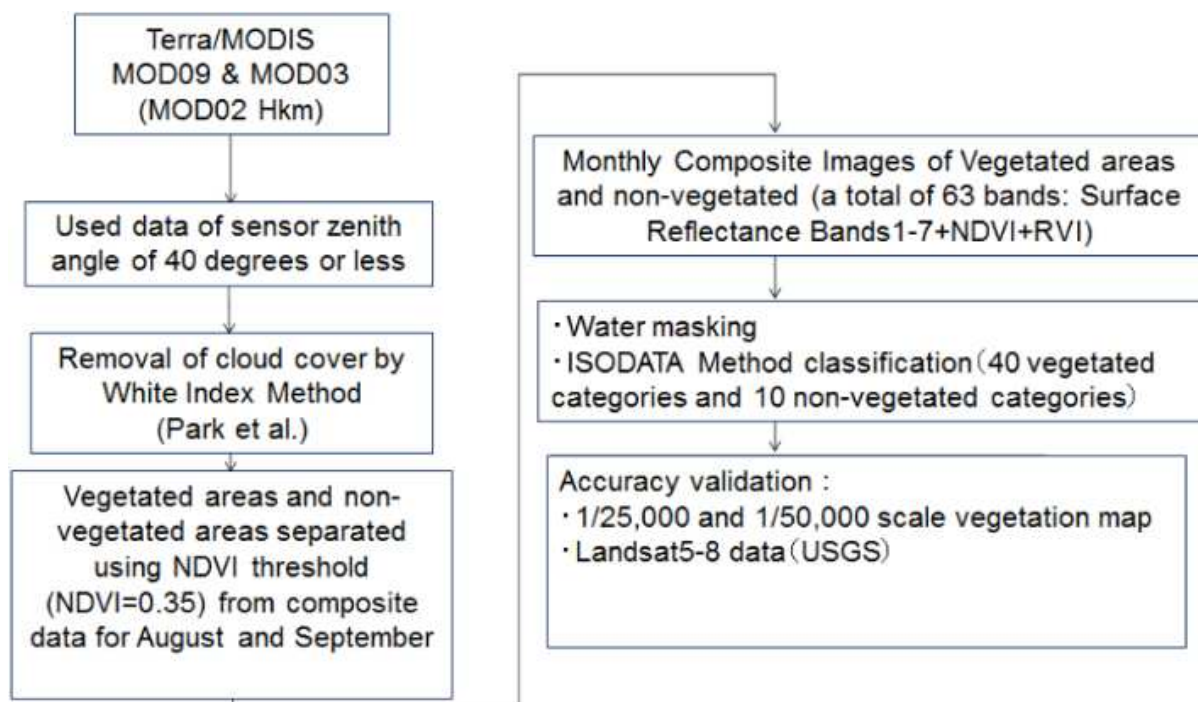
本研究では、既存の植生図の問題に対応するために、MODISデータから作成された日本全国スケールの土地被覆分類図（以下、植生現況図とする）を用いて、気候および地形条件から現在の植生を説明するモデルを構築する。構築したモデルに将来の気候条件を代入することで、将来における植生の分布図（予測図）を作成する。そして、MODISデータから作成された植生現況図を用いた予測図と、既存の環境省植生図を用いた予測図を比較することで、MODISデータから作成された植生現況図を用いた将来の植生分布予測図の有効性を明らかにすることを目的とした。

なお、本サブテーマの課題のうち、「土地被覆解析結果の検証」に関しては、サブテーマ2と共同で研究を実施しており、一括して「（2）衛星データセットの作成手法と解析方法の開発」の項に報告する。

3. 研究開発方法

（1）植生分布のデータ

本研究で用いた植生現況図とは、東京情報大学が受信するMODISデータを用いて作成された全国スケールの土地被覆分類図である。MODISデータから合計63バンドをもつ月間合成画像を作成した後に、教師なし分類のISODATA法を用いて40の植生クラスと10の非植生クラスに分類し、それらを相観植生レベルに再統合したものである⁵⁾。図(1)-1は植生図作成までの流れを示すものである。

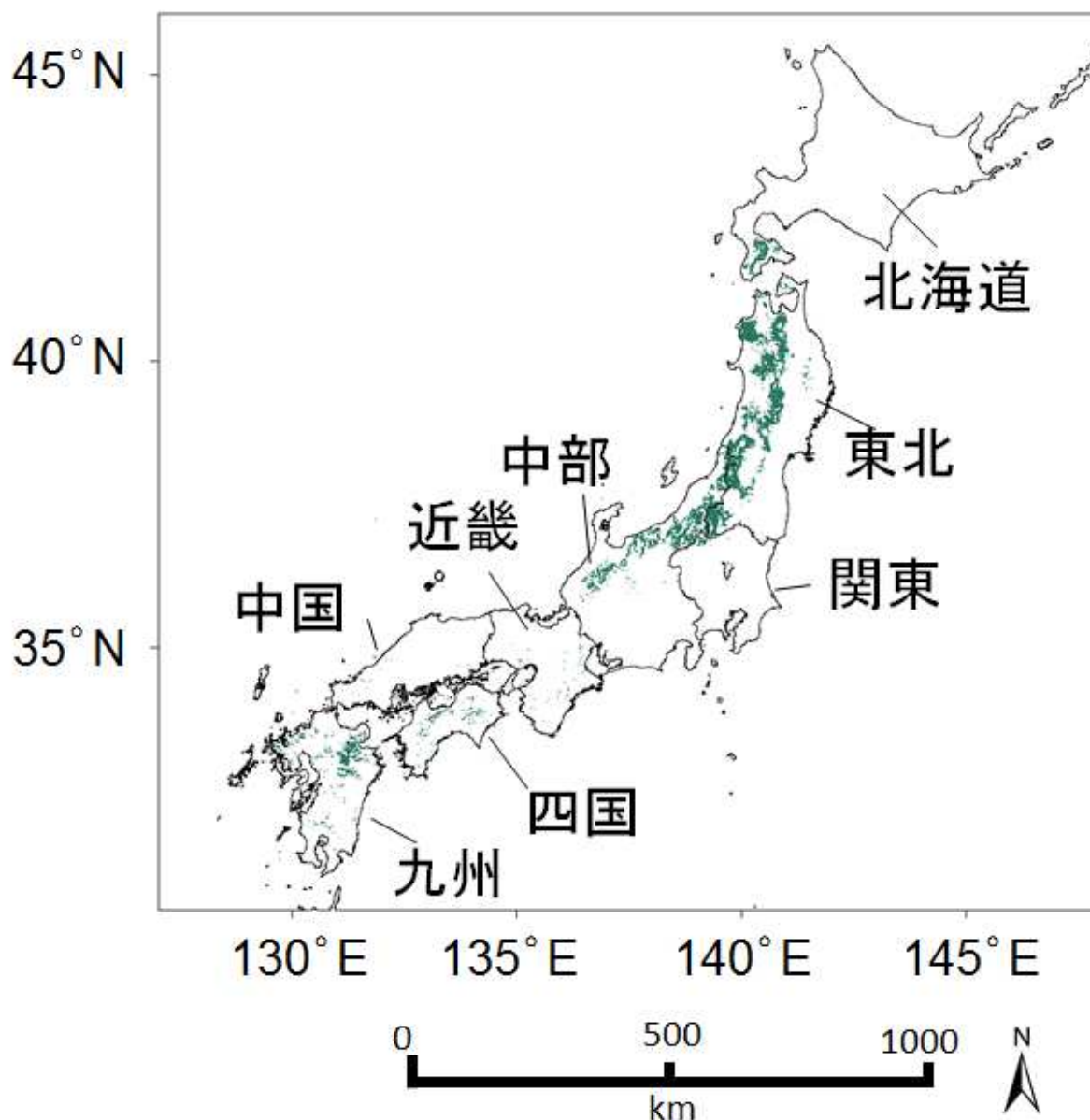


図(1)-1 MODIS データを用いた植生現況図作成フロー（出典：Harada et al., (2014)）

サブテーマ2のスタッフとともに、日本各地における現存植生（グランド・トゥルース）の踏査結果を確認しながら、より詳細な植生現況図の作成を試みたところ、相観植生レベルの植生クラスを示す植生現況図のなかでも、落葉広葉樹林はさらにブナ林、および、ミズナラ・コナラ林に区分できる可能性が高いことが示唆された。そこで、本研究では、ミズナラ・コナラ林に比べて、純群落を形成することが多く、より高標高域に分布することから将来の気候変動に感受性が高いと考えられるブナ優占群落を用いて、分布予測図を作成することとした。

植生現況図を作成する前の段階で得られる40に区分された植生クラスのうち、ブナ優占群落に該当するデータを抽出した。気候条件や地形条件などの説明変数と空間解像度をそろえるために、ブナ優占群落の在不在データを3次メッシュ（1 km x 1 km）に変換した。ただし、このブナ優占群落とした植生クラスは実際のブナ林の分布によく適合するものの、一般的にブナ優占群落の分布北限と知られている黒松内低地帯⁹を超えた北海道においても在メッシュが分布していたことから、黒松内低地帯より北に確認された在メッシュを不在メッシュに変更した。

最終的にブナ優占群落の在不在の分布とした結果を図(1)-2に示す。



図(1)-2 ブナ優占群落の在不在の空間分布

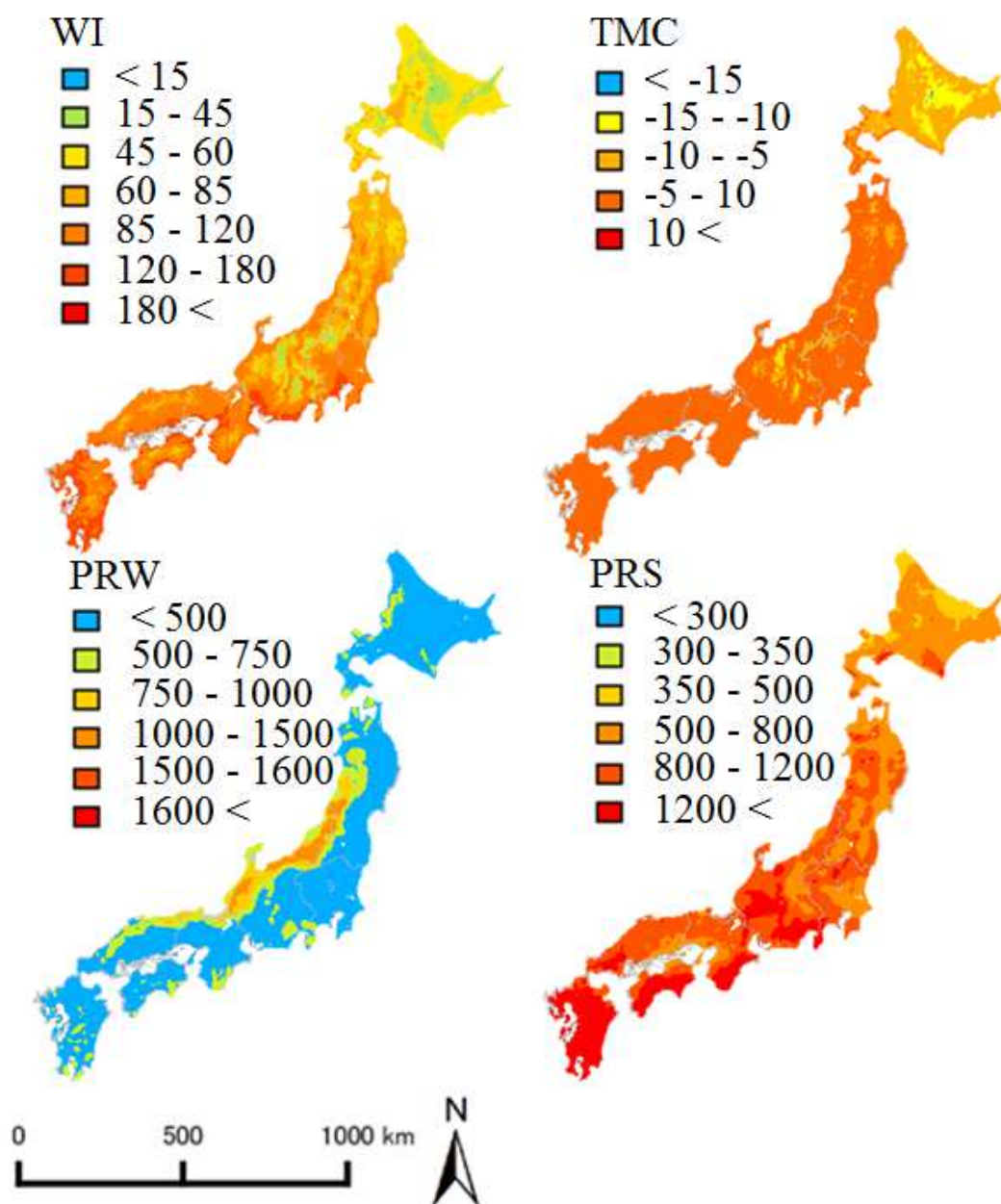
(2) ブナ優占群落の分布と環境条件

現在の気候条件下におけるブナ優占群落の分布を説明するために、前述のブナ優占群落の在不在を従属変数として、4つの気候条件（最寒月の平均日最低気温：mean minimum daily temperature of the coldest month (TMC)、暖かさの指数：warmth index (WI)、冬季降水量：winter precipitation (PRW)、夏季降水量：summer precipitation (PRS)）と、5つの地形条件（地形：topography (TOPO)、表層地質：surface geology (GEOL)、土壌：soil (SOIL)、斜面方位：slope aspect (ASP)、斜度：inclination (INCL))を独立変数として用いた。

(3) 現在の気候条件のデータ

現在の気候条件として、国土交通省が提供する国土数値情報から平年値メッシュデータを落手して用いた。このデータは、アメダスで得られた1981～2010年の平年値を用いて推定された気候データをメッシュ単位に補完したものであり、気象庁が整備したものである。月ごとの気温や降水量などの気候データが3次メッシュ単位で整理されている。

今回の研究では、モデルの説明変数に用いるために、これらの平年値メッシュデータを用いて4つの気候条件を3次メッシュ単位で算出した。算出した気候変数の計算式・方法はそれぞれ次のとおりである。年間で最も寒い月における日最低気温をTMCとした。年間で5℃を超える月を対象に月の平均気温-5℃を積算したものをWIとした。12月から3月の月平均降雨量を積算した値をPRWとした。5月から9月の月平均降雨量を積算した値をPRSとした（図(1)-3）。



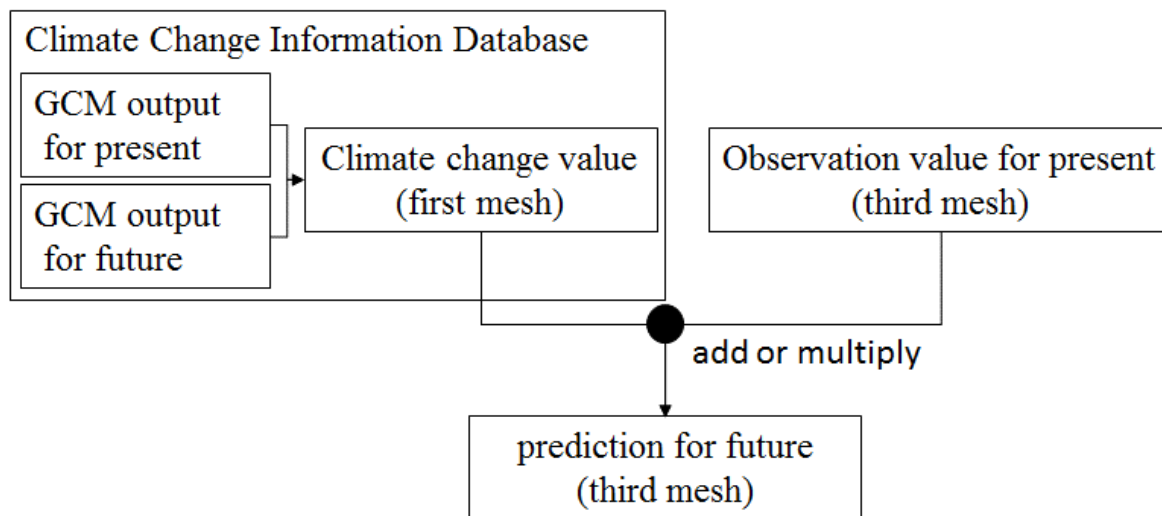
図(1)-3 現在の気候条件の分布

(4) 将来の気候条件のデータ

将来の気候条件として用いたデータセットは京都大学防災研究所により提供されたデータベース（以下、気候変動情報データベースとする）から落手したものである⁷⁾。

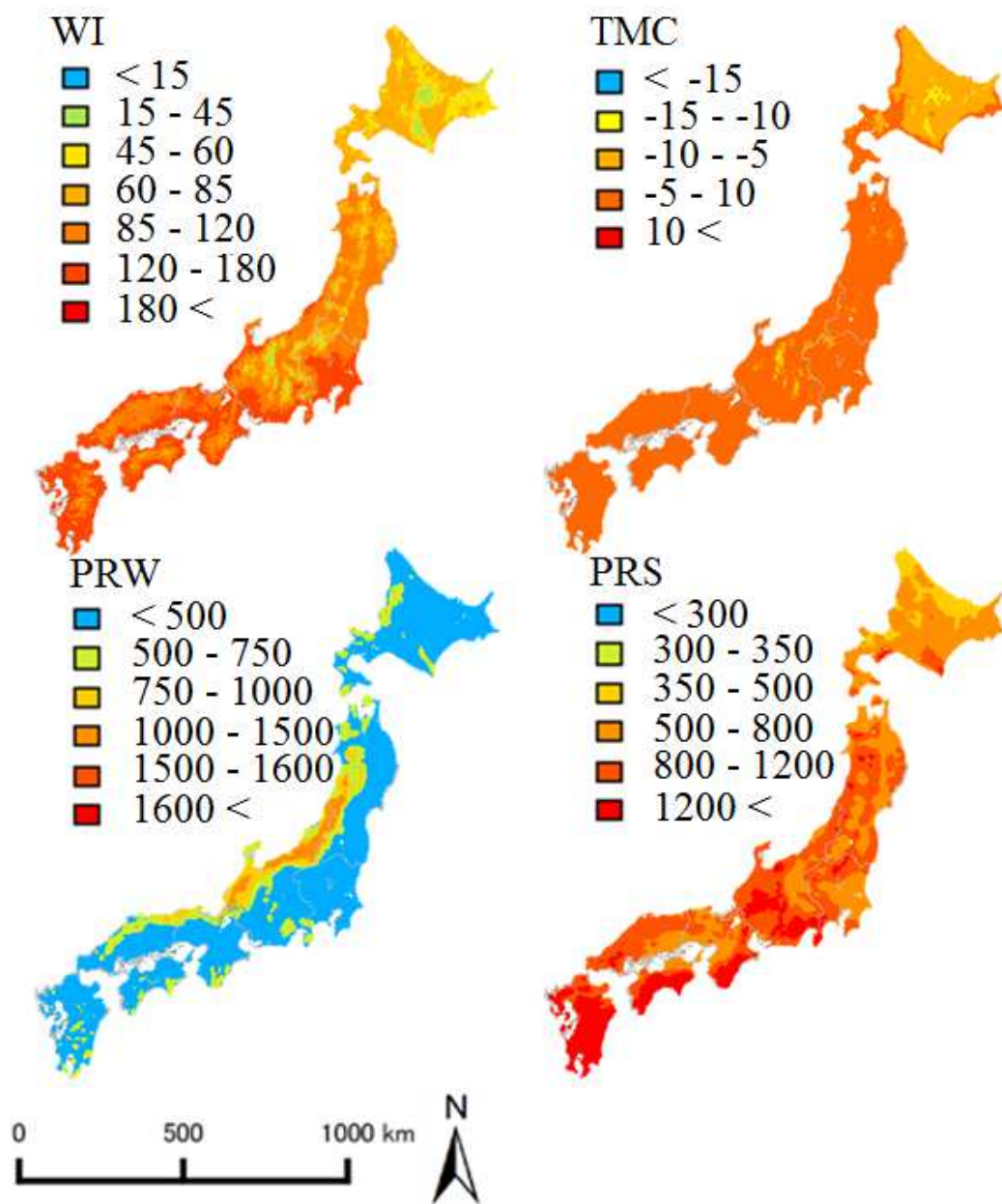
気候変動情報データベースにより提供されるデータは、29種類の気候モデルに対して3つの温室効果ガス排出シナリオ（高排出、中排出、低排出）をそれぞれ適用したものである。それぞれ、3つの対象期間（現在：1980-1999年、近未来：2046-2065、将来：2080-2099）についての計算結果（すなわち、将来の気候の予測値）が提供されており、月ごとの気温や降水量が1次メッシュ（80 km x 80 km）ごとに整理されている。

本研究では、気候変動の不確実性を再現するために、最も気候条件の変化が少ないCSIRO-Mk3.0モデル（100年後の気温が約1.8℃上昇）の低排出シナリオと、最も気候条件の変化が大きいMIROC3.2モデル（100年後の気温が約4.2℃上昇）の高排出シナリオをそれぞれ用いた。気候変動情報データベースから得られる気候条件データは他のデータと空間解像度が異なる。本研究では、気候変化上乘せ法⁷⁾を用いてすべてのデータの空間解像度を3次メッシュに合わせた（図(1)-4）。具体的には、国土数値情報から得られた現在の気候条件（3次メッシュ）の各メッシュに対して、気候変動情報データベースが提供する気候変化値（1次メッシュ）を加算もしくは乗算することで、将来の気候条件（3次メッシュ）の予測値を算出した。

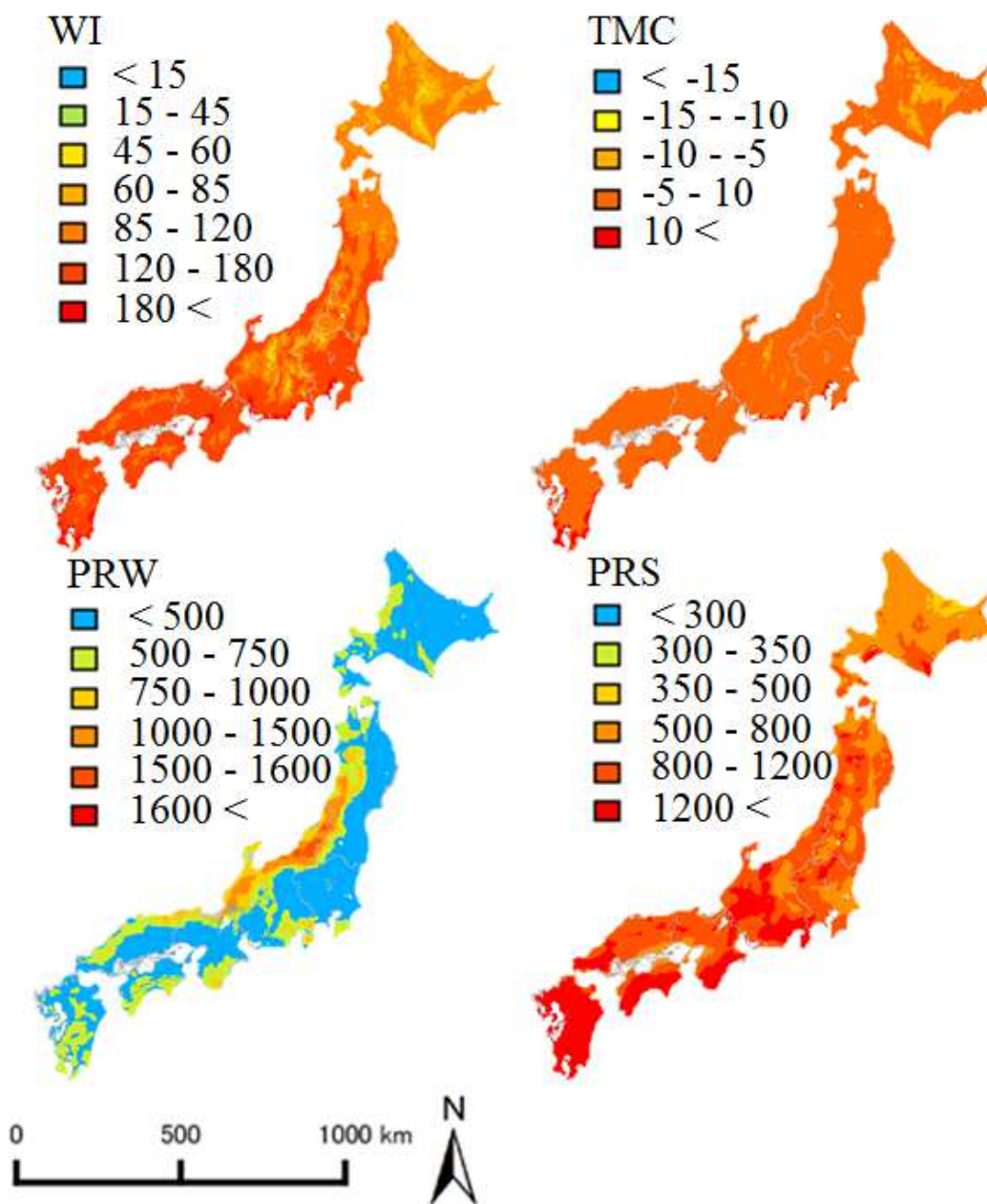


図(1)-4 気候変化上乘せ法のフロー（Michihiro et al., (2012) を改変）

将来の気候条件の予測値から算出した将来の気候条件を図(1)- 5および図(1)- 6に示す。



図(1)-5 低排出シナリオにおける気候条件の分布



図(1)-6 高排出シナリオにおける気候条件の分布

(5) 地形条件のデータ

国土数値情報の一つである標高・傾斜度5次メッシュデータと土地分類基本調査による縮尺1/20,000のデータを地形条件として用いた。それぞれ、他のデータと空間解像度をそろえるために3次メッシュ化した。

(6) ブナ優占群落の分布予測モデルの構築

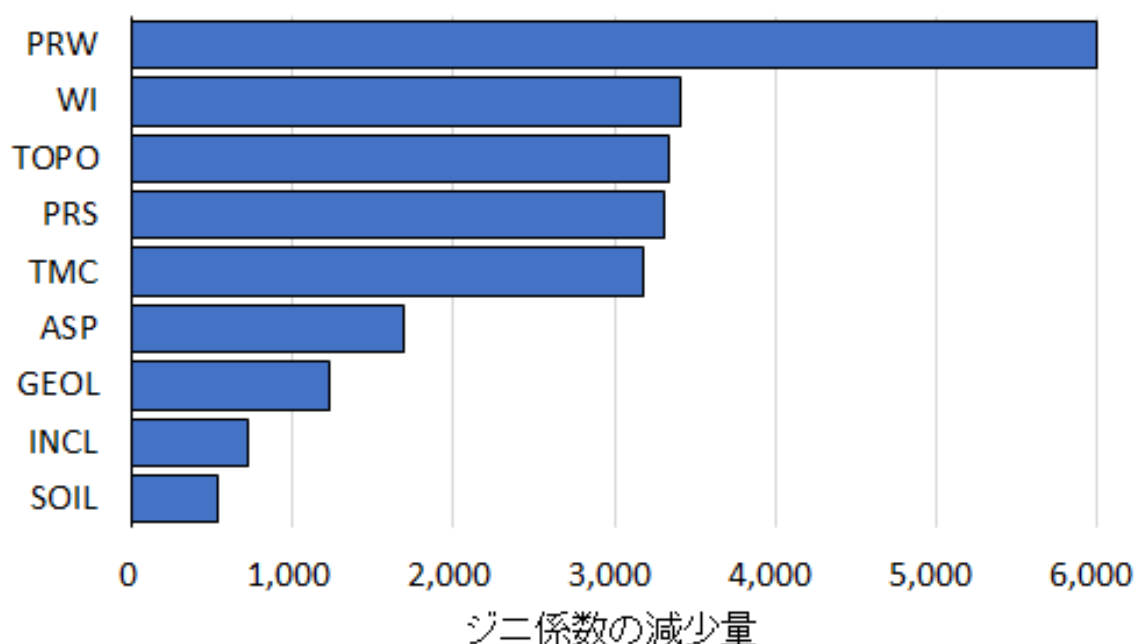
現在の気候条件におけるブナ優占群落の分布を説明する要因の特定と、将来の気候条件におけるブナ優占群落の分布の推定のために、ランダムフォレスト⁸⁾を用いてモデルを構築した。ランダ

ムフォレストでは、一般的に精度の減少量（mean decrease accuracy）や、ジニ係数の減少量（mean decrease gini）を評価することによってモデルにおける説明変数の重要度が求められる^{9), 10), 11)}。本研究では、ジニ係数の減少量を用いて、モデルにおける説明変数の重要度を評価した。

4. 結果及び考察

（1）植生現況図を用いた気候変動によるブナ優占群落への影響

図(1)-7はランダムフォレストによって得られた説明変数の重要度である。

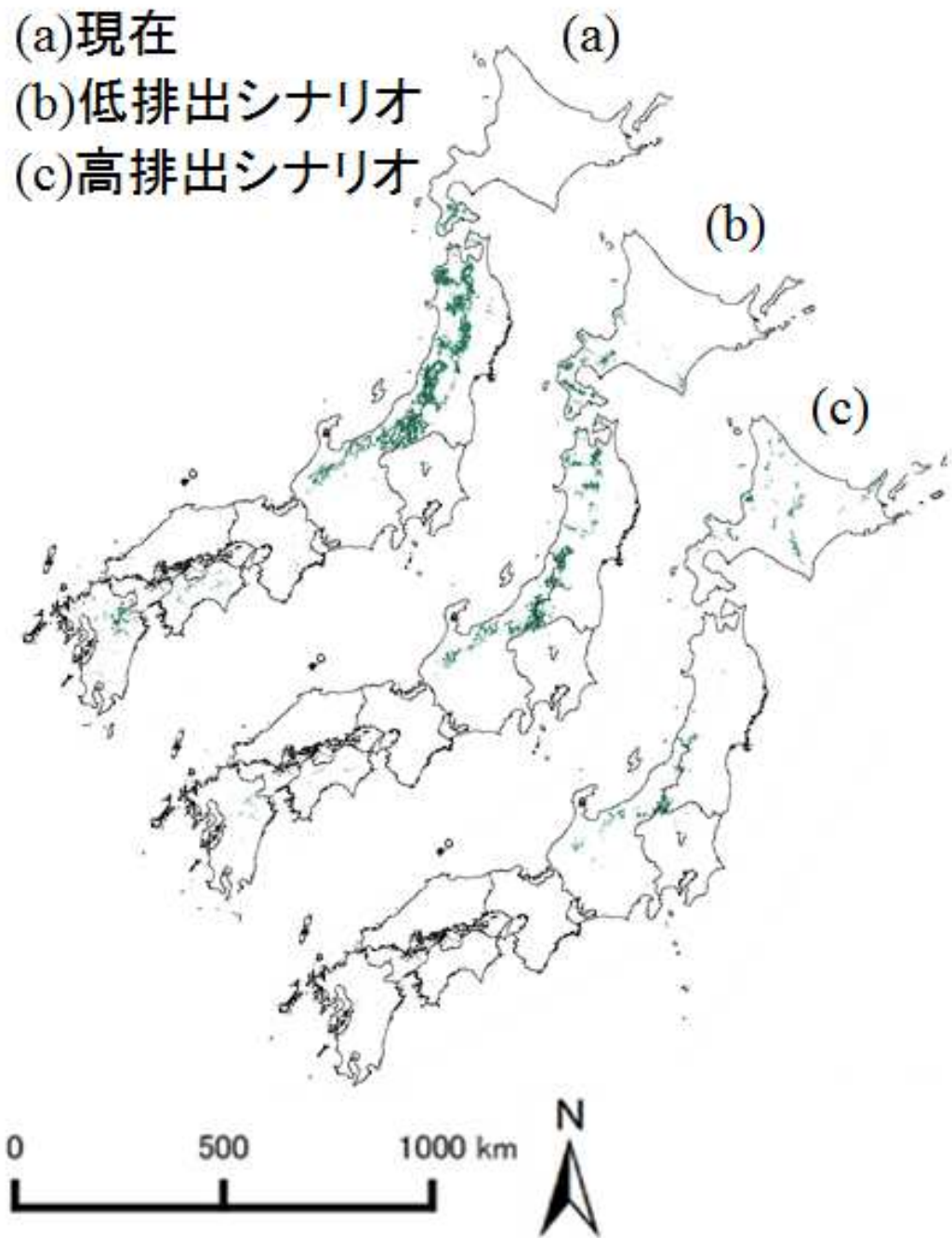


図(1)-7 説明変数の重要度

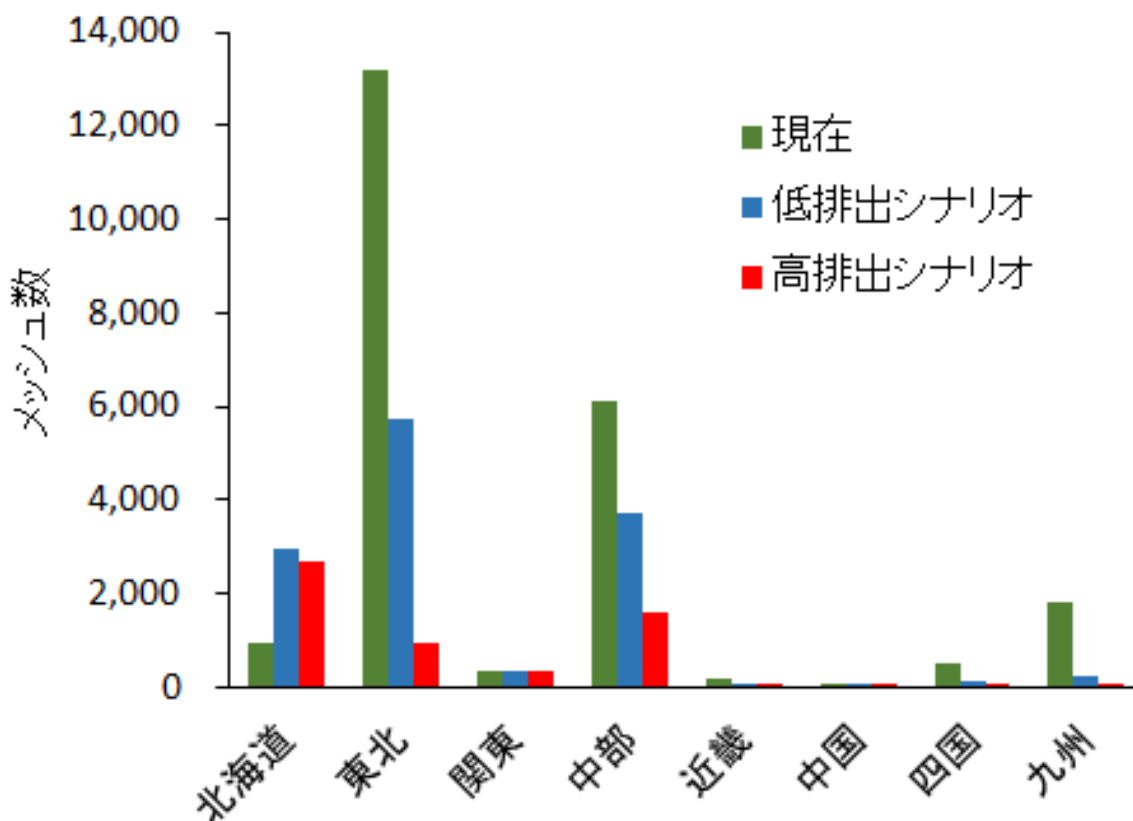
説明変数の重要度を確認すると、今回のモデルにおいては、PRWが特に重要な変数であり、それに続いて、WI、TOPO、PRS、TMCの順に重要度が高かった。特に、PRWが高いことから、今回のモデルは、太平洋側に比べて多雪である日本海側にブナ林が広く分布する特徴を再現できていると考えられた。

現在、および将来の気候変動シナリオごとの気候条件をもとに、今回構築したモデルを用いてブナ優占群落の分布適地を地図化したところ（図(1)-8、図(1)-9）、低排出シナリオ、および、高排出シナリオともに、北海道を除くすべての地域において分布適地メッシュ数が減少すると予測された。

特に西日本（近畿、中国、四国、九州）においては、ほぼすべてのメッシュが分布適地ではなくなった。東日本（関東、東北）では、現在の気候条件で分布適地が広く分布していたが、低排出シナリオで半数以下、高排出シナリオではさらに大部分の分布適地が消失した。北海道においては、低排出と高排出の両方のシナリオにおいて分布適地となるメッシュ数が増加した。



図(1)-8 現在(a)、低排出シナリオ(b)、高排出シナリオ(c)におけるブナ優占群落の分布適地



図(1)-9 現在、低排出シナリオ、高排出シナリオにおけるブナ優占群落の分布適地のメッシュ数。地域ごとに集計した。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

MODISデータを分類して作成された日本全国スケールの植生現況図から、ブナ優占群落などの相観植生よりも下位の分類クラスを抽出し、気候変動シナリオをもとに将来の植生分布図を作成できることを示した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

衛星リモートセンシング解析に基づく分布域を用いた、気候変動による分布域変化の解析は、これまでの現地調査データによる研究では欠落した分布域を網羅している可能性が高く、より忠実な変化予測につなげることができ、当該分野の業務や研究に応用が見込まれる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、原田一平、富田瑞樹：写真測量とリモートセンシング, 54, 3, 133-140 (2015年)
「MTFを用いたMODIS期間合成画像の空間精度の評価」
- 2) K. Hara, Y. Zhao, I. Harada, M. Tomita, J. Park, E. Jung, N. Kamagata, Y. Hirabuki: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-7/W3, 805-809 (2015).
“Multi-scale monitoring of landscape change after the 2011 Tsunami.”
- 3) I. Harada, K. Hara, J. Park, I. Asanuma, M. Tomita, D. Hasegawa and M. Fujihara: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-7/W3, 403-408 (2015).
“Monitoring of rapid land cover changes in eastern Japan using Terra/MODIS data.”
- 4) H. Hirayama, M. Tomita, K. Hara: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B8, 883-887 (2016).
“Prediction of changes in vegetation distribution under climate change scenarios using MODIS dataset.”
- 5) R. C. Sharma, K. Hara, H. Hirayama, I. Harada, D. Hasegawa, M. Tomita, J. Park, I. Asanuma, K. M. Short, M. Hara, Y. Hirabuki, M. Fujihara, R. Tateishi: Advances in Remote Sensing, 6, 1, 54-65 (2017).
“Production of Multi-features Driven Nationwide Vegetation Physiognomic Map and Comparison to MODIS Land Cover Type product.”
- 6) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹：写真測量とリモートセンシング, 56, 1, 4-13 (2017年)
「Terra/MODISを用いた北海道道東地方における落葉期のカラマツ人工林と落葉広葉樹林の植生フェノロジーの差異の検出」

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 富田瑞樹：『生態学が語る東日本大震災－自然界に何が起きたのか－』（日本生態学会東北地区会編），130-136，文一総合出版（2016）
「津波後の海岸林に残された生物学的遺産」
- 2) 原慶太郎：『生態学が語る東日本大震災－自然界に何が起きたのか－』（日本生態学会東北地区会編），23-28，文一総合出版（2016）
「宇宙からの目がとらえた津波前後の沿岸生態系の変化」
- 3) M. Tomita, Y. Hirabuki, H. Kanno, K. Hara: Ecological impacts of tsunamis on coastal ecosystems: Lessons from the Great East Japan Earthquake (eds. J. Urabe, T. Nakashizuka), 383-394, Springer

(2016)

“Influences of large, infrequent disturbance caused by tsunami on coastal forest communities.”

- 4) K. Hara, Y. Zhao, M. Tomita, N. Kamagata, Y. Li: Ecological impacts of tsunamis on coastal ecosystems: Lessons from the Great East Japan Earthquake (eds. J. Urabe, T. Nakashizuka), 253-269, Springer (2016)

“Impact of the 2011 earthquake and tsunami on coastal vegetation and landscapes in Northeast Japan: Findings based on remotely sensed data analysis.”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平：日本写真測量学会平成27年度年次学術講演会発表論文集，37-40（2015年5月）
「衛星画像量子化による土地被覆分類への影響」
- 2) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平：日本写真測量学会平成27年度秋季学術講演会発表論文集，39-42（2015年10月）
「カラマツとシラカンバの分光特性の検討」
- 3) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平：日本写真測量学会平成28年度年次学術講演会発表論文集，113-116（2016年5月）
「落葉樹林間の期間合成データにおける植生フェノロジーの観測」
- 4) 長谷川大輔、原田一平、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹：日本写真測量学会平成28年度秋季学術講演会発表論文集，169-172（2016年11月）
「異なるMODIS期間合成データを用いた植生現況図の作成」
- 5) 平山英毅、原慶太郎、富田瑞樹：日本写真測量学会平成28年度秋季学術講演会発表論文集，49-52（2016年11月）
「仙台湾沿岸域における震災に伴う森林パッチの連結性変化の定量的評価」

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) K. Hara, Y. Zhao, M. Tomita, N. Kamagata and Y. Hirabuki : The 57th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Perth, Australia, September 2014
“Remote sensing analysis of tsunami damage and recovery process of coastal vegetation in northeast Japan.”
- 2) M. Fujihara, K. Ito, I. Harada, M. Tomita, and K. Hara: The 57th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Perth, Australia, September 2014
- 3) “Assessment of the dynamics of vegetation boundaries as depicted by vegetation mapping based on aerial photographs and satellite remote sensing.”
- 4) Y. Hirabuki, M. Tomita, H. Kanno, Y. Zhao, K. Hara and I. Harada: The 4th International Conference of Urban Biodiversity and Design, Incheon, Korea, October 2014
“Vegetation dynamics following the 2011 huge-earthquake/tsunami disturbance in an urban coastal ecotone.”
- 5) 原田一平、原慶太郎、朴鍾杰、浅沼市男、富田瑞樹、長谷川大輔、原正利、平吹喜彦、藤原

- 道郎：日本リモートセンシング学会第57回学術講演会（2014年11月）
「Terra/MODISを用いた日本における植生図化手法の開発」
- 6) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、原田一平：日本写真測量学会平成26年度秋季学術講演会（2014年11月）
「MODIS期間合成画像の空間精度の評価」
- 7) 平吹喜彦、原慶太郎、富田瑞樹、西廣淳、岡浩平、菅野洋、杉山多喜子、滝口政彦：日本生態学会東北地区会第59回大会（2014年12月）
「仙台市東縁の砂浜海岸エコトーンにおける植生の動態と保全・修復活動」
- 8) 藤原道郎、伊藤休一、原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、原正利、平吹喜彦：日本生態学会第62回全国大会（2015年3月）
「衛星リモートセンシングによる植生図化のための2.5万分の1植生図凡例の検討」
- 9) K. Hara, Y. Zhao, I. Harada, M. Tomita, J. Park, E. Jung, N. Kamagata, Y. Hirabuki: The 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Berlin, Germany, May 2015
“Multi-scale monitoring of landscape change after the 2011 Tsunami.”
- 10) I. Harada, K. Hara, J. Park, I. Asanuma, M. Tomita, D. Hasegawa and M. Fujihara: The 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Berlin, Germany, May 2015
“Monitoring of rapid land cover changes in eastern Japan using Terra/MODIS data.”
- 11) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平：日本写真測量学会平成27年度年次学術講演会（2015年5月）
「衛星画像量子化による土地被覆分類への影響」
- 12) 原田一平、原慶太郎、浅沼市男、朴鍾杰、富田瑞樹、長谷川大輔：日本リモートセンシング学会第58回学術講演会（2015年6月）
「南相馬市における土地被覆動態のモニタリング」
- 13) 富田瑞樹、菅野洋、平吹喜彦、原慶太郎：日本景観生態学会第25回全国大会北九州大会（2015年6月）
「津波による攪乱後の樹木群集に攪乱前の履歴が与える影響 —仙台平野を例に—」
- 14) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：日本景観生態学会第25回全国大会北九州大会（2015年6月）
「生物多様性評価のための衛星リモートセンシングによる広域スケール植生現況図作成」
- 15) Y. Hirabuki, M. Tomita, H. Kanno, J. Nishihiro, K. Oka, K. Hara, Y. Zhao and I. Harada: The 9th International Association for Landscape Ecology World Congress, Portland, Oregon, USA, July 2015
“Rapid and Heterogeneous Vegetation Recovery Following the 2011 Earthquake/Tsunami: New Findings Supporting Integrated Coastal-Ecotone Management.”
- 16) M. Tomita, H. Kanno, Y. Hirabuki and K. Hara: The 9th International Association for Landscape Ecology World Congress, Portland, Oregon, USA, July 2015
“Distribution of remnant forests and tree communities in the 2011 tsunami-inundated area, Sendai Japan.”
- 17) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原

- 道郎：植生学会第20回大会（2015年10月）
「衛星リモートセンシングデータを用いた広域スケール植生図化手法の開発」
- 18) 藤原道郎、伊藤休一、原田一平、原慶太郎、富田瑞樹：植生学会第20回大会（2015年10月）
「広域植生図における詳細植生図の情報」
- 19) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平：日本写真測量学会平成27年度秋季学術講演会（2015年10月）
「カラマツとシラカンバの分光特性の検討」
- 20) 原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：日本リモートセンシング学会第59回学術講演会（2015年11月）
「Terra/MODISを用いた日本における植生図化手法の開発（その2）」
- 21) 原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：第16回自然環境復元学会全国大会（2016年2月）
「Terra/MODISを用いた日本における広葉樹林の分布について」
- 22) 平山英毅、富田瑞樹、原慶太郎、平吹喜彦：第16回自然環境復元学会全国大会（2016年2月）
「仙台湾沿岸域における東日本大震災前後の森林パッチの抽出と連結性」
- 23) 原田一平、堀内雄太、宮原喜彦、浅沼市男、原慶太郎：日本地理学会2016年春季学術大会（2016年3月）
「南相馬市における非耕作農地の土壌放射性物質の濃度変化」
- 24) 富田瑞樹、菅野洋、平吹喜彦、原慶太郎：第63回日本生態学会大会（2016年3月）
「分断化景観における樹木群集の組成に履歴が与える影響」
- 25) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：第63回日本生態学会大会（2016年3月）
「生物多様性評価のためのMODISデータによる日本全土の植生現況図作成」
- 26) 平吹喜彦、菅野洋、鈴木建司朗、佐藤愛実、鈴木大駿、佐々木将、岡浩平、富田瑞樹、原慶太郎：第63回日本生態学会大会（2016年3月）
「被災から5成育期目の南蒲生/砂浜海岸エコトーンにおける多様な立地と更新樹木集団」
- 27) 原田一平、原慶太郎、浅沼市男、朴鍾杰、富田瑞樹、長谷川大輔：日本リモートセンシング学会第60回学術講演会（2016年5月）
「南相馬市における土地被覆動態のモニタリング（その2）」
- 28) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平：日本写真測量学会平成28年度年次学術講演会（2016年5月）
「落葉樹林間の期間合成データにおける植生フェノロジーの観測」
- 29) 平吹喜彦、富田瑞樹、菅野洋、岡浩平、原慶太郎：日本景観生態学会第26回全国大会北海道大会（2016年7月）
「南蒲生/砂浜海岸エコトーンにおける林木種集団の自律的再生と復興・防災事業再考」
- 30) 平吹喜彦、富田瑞樹、菅野洋、岡浩平、原慶太郎：日本景観生態学会第26回全国大会北海道大会ポストイベント「北の海辺で考える砂浜海岸とのつきあい方」ミニシンポジウム（2016年7月）
「防潮堤・海岸林の復旧事業に揺れる仙台平野の砂浜海岸」

- 31) 平山英毅、富田瑞樹、原慶太郎：日本景観生態学会第26回全国大会北海道大会（2016年7月）
「東日本大震災前後の仙台湾沿岸域における連結性を用いた森林パッチの空間的分布の重要度評価」
- 32) 藤原道郎、原田一平、原慶太郎、富田瑞樹：日本景観生態学会第26回全国大会北海道大会（2016年7月）
「組成を基にした植生図の凡例を活かした広域植生図の検討」
- 33) H. Hirayama, M. Tomita, K. Hara: XXIII the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Congress, Prague, Czech Republic, July 2016
“Prediction of changes in vegetation distribution under climate change scenarios using MODIS dataset.”
- 34) M. Fujihara, K. Ito, I. Harada, K. Hara, M. Tomita: The 5th International EcoSummit Congress, Montpellier, France, August 2016
“Comparison of vegetation type and its distribution derived from vegetation mapping based on phytosociology and satellite remote sensing.”
- 35) M. Tomita, H. Kanno, Y. Hirabuki, K. Hara: The 5th International EcoSummit Congress, Montpellier, France, August 2016
“Species composition and spatial distribution of remnant forests in the 2011 tsunami-inundated area, Sendai Japan”
- 36) 平吹喜彦、富田瑞樹、菅野洋、鈴木大駿、岡浩平、原慶太郎：植生学会第21回大会（2016年10月）
「南蒲生/砂浜海岸エコトーンにおける林冠樹種集団の動態：東日本大震災に伴う攪乱と自律的再生」
- 37) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平：日本写真測量学会平成28年度秋季学術講演会（2016年11月）
「異なるMODIS期間合成データを用いた植生現況図の作成」
- 38) 平山英毅、原慶太郎、富田瑞樹：日本写真測量学会平成28年度秋季学術講演会（2016年11月）
「仙台湾沿岸域における震災に伴う森林パッチの連結性変化の定量的評価」
- 39) 平吹喜彦、富田瑞樹、菅野洋、鈴木大駿、岡浩平、原慶太郎：第63回海岸工学講演会（2016年11月）
「東日本大震災に伴う砂浜海岸エコトーンの攪乱と回復」
- 40) 富田瑞樹、菅野洋、平吹喜彦、原慶太郎：第64回日本生態学会全国大会（2017年3月）
「大規模攪乱後に残存した樹木群集の組成と立地環境の関係」

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 21世紀の環境を考える ―宇宙から生物多様性をとらえる―（2015年6月20日、東京情報大

学総合情報センター・メディアホール、観客128名)

- 2) Webページによる公開 (2015年6月20日、<http://negis.tuis.ac.jp/kenkyu11405/>)

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) IPCC (2007). Climate Change 2007 : Summary for Policymakers. IPCC Fourth Assessment Report (Vol. 335).
- 2) Matsui, T., Yagihashi, T., Nakaya, T., Taoda, H., Yoshinaga, S., Daimaru, H. and Tanaka, N. (2004). Probability distributions, vulnerability and sensitivity in *Fagus crenata* forests following predicted climate changes in Japan. *Journal of Vegetation Science*, 15(5), 605–614.
- 3) Matsui, T., Tanaka, N., Yagihashi, T., Kominami, Y., Tsuyama, I. and Takahashi, K. (2009). Prediction and impact assessment of the changes in suitable habitats for beech (*Fagus crenata*) forests under climate change scenarios. *Global Environmental Research*, 14(2), 165–174.
- 4) Hioki, Y. (2007). Issues of nation-wide actual vegetation maps from the aspect for application. *Landscape ecology and management*, 11(2), 107–112.
- 5) Harada, I., Hara, K., Tomita, M., Short, K. and Park, J. (2014). Monitoring Landscape Changes in Japan Using Classification of Modis Data Combined with a Landscape Transformation Sere (LTS) Model. *Journal of Landscape Ecology*, 7(3), 23–38.
- 6) Yamagishi, H. and Kimura, G. (1981). Outcrops of active faults along the Kuromatsunai Lowland, Hokkaido. *Earth Science*, 35(2), 94–97.
- 7) Michihiro, Y., Sato, Y. and Suzuki, Y. (2012). DEVELOPMENT AND APPLICATION OF GCM DATABASE FOR HYDROLOGIC ANALYSIS AT BASIN SCALE. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)*, 68(3), 125–135.
- 8) Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 5–32.
- 9) Calle, M. L. and Urrea, V. (2011). Letter to the editor: Stability of Random Forest importance measures. *Briefings in Bioinformatics*, 12(1), 86–89.
- 10) Nicodemus, K. K. (2011). Letter to the editor: on the stability and ranking of predictors from random forest variable importance measures. *Briefings in bioinformatics*, 12(4), 369–73.
- 11) Cutler, D. R., Edwards, T. C., Beard, K. H., Cutler, A., Hess, K. T., Gibson, J. and Lawler, J. J. (2007). Random Forests for Classification in Ecology. *Ecology*, 88(11), 2783–2792.

(2) 衛星データセットの作成手法と解析方法の開発

東京情報大学

総合情報学部

浅沼 市男

総合情報学部

朴 鍾杰

総合情報学部

原田 一平

<研究協力者>

東京情報大学

総合情報学部

長谷川 大輔

総合情報学部

R. C. Sharma (平成28年度のみ)

平成26～28年度累計予算額：42,103千円（うち平成28年度：16,509千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

本研究では、地球温暖化問題の解明や自然災害からの再建計画、生物多様性の保全などに資するリモートセンシングの活用と植生図作成の開発の一環として自然環境保全基礎調査に基づいて作成された環境省の植生図の整備と更新頻度の向上を目的に、時間分解能が高く、継続的かつ広域的に全国の地表面を観測したMODIS受信データを解析に活用するためのデータセットを作成した。そして、作成したデータセットと環境省の植生図、RapidEyeやLandsatなどのほかの衛星データを組み合わせた植生現況図の作成、土地被覆の変化の検出、さらに、GRVIやNDVI、NDWIなどの植生指数と気象観測データと標高データ、および開葉予測モデルを組み合わせた解析から、相観レベルの下の階層クラスの識別について検討した。この結果、雲を除去した月別コンポジットデータを用いて作成した東日本と西日本の植生現況図を統合した2013年と2014年の全国植生現況図を作成し、南相馬市における土地被覆分類結果より、震災前後で農地面積が4245.5 haから369.8 haに減少、草地面積が3363.5 haから9792.6 haに増加したことを明らかにした。また、北海道の道東地方で平均標高が100～300 m、10月の平均気温が14～15℃、11月の平均気温が7.5～8.5℃の条件において、黄葉を含んだカラマツ人工林のGRVI値 (-0.1付近)、カラマツ人工林よりも落葉が進行した落葉広葉樹林のGRVI値 (0付近) が観測された。さらに、東北地方のブナ群落とコナラ・ミズナラ群落の優占群落間で開葉に要する積算温度は43℃程度の差が見られたことから、森林タイプ間の落葉の時期の差異と優占群落間の開葉の時期の差異をMODISが観測していることを示し、植生フェノロジーの差異による相観レベルの下の階層クラスの識別を明らかにした。

[キーワード]

植生図、土地被覆分類、MODIS、景観変化、フェノロジー

1. はじめに

炭素吸収源である海洋と陸域生態系のうち、陸域生態系の森林では植物の光合成による呼吸と土壌呼吸があり¹⁾、植物の光合成による炭素の固定や土壌呼吸による二酸化炭素（温室効果ガス）

の排出、森林の伐採や火災による二酸化炭素の排出、産業革命以降の人為的活動により排出される二酸化炭素の増加など、地球温暖化との関連について指摘されている^{2), 3)}。そして、我が国でも化石燃料の普及に伴う二次林の管理放棄、都市開発、農村の過疎化などにより、半世紀にわたって土地被覆は急速に変化していった。自然環境保全法（1972）に基づき環境省が実施してきた自然環境保全基礎調査によって植生図の全国整備は進められているが、人為的活動あるいは自然災害によって変化する土地被覆の現況を把握するには、現地調査・踏査を行う必要があり、変化した地域の特定は難しく、調査・踏査の範囲には限界がある。特に、2011年3月に起こった東日本大震災によって深刻な被害を受けた東北地方などの地域では、広範囲で農地の放棄や様々な植生群落に影響が与えられた。東日本大震災による被害を評価するため、また生物多様性と生態系の保全と社会経済の回復を両立させる再建戦略を設計するために、継続的かつ広域的に更新された植生現況図が必要であると考えられる。

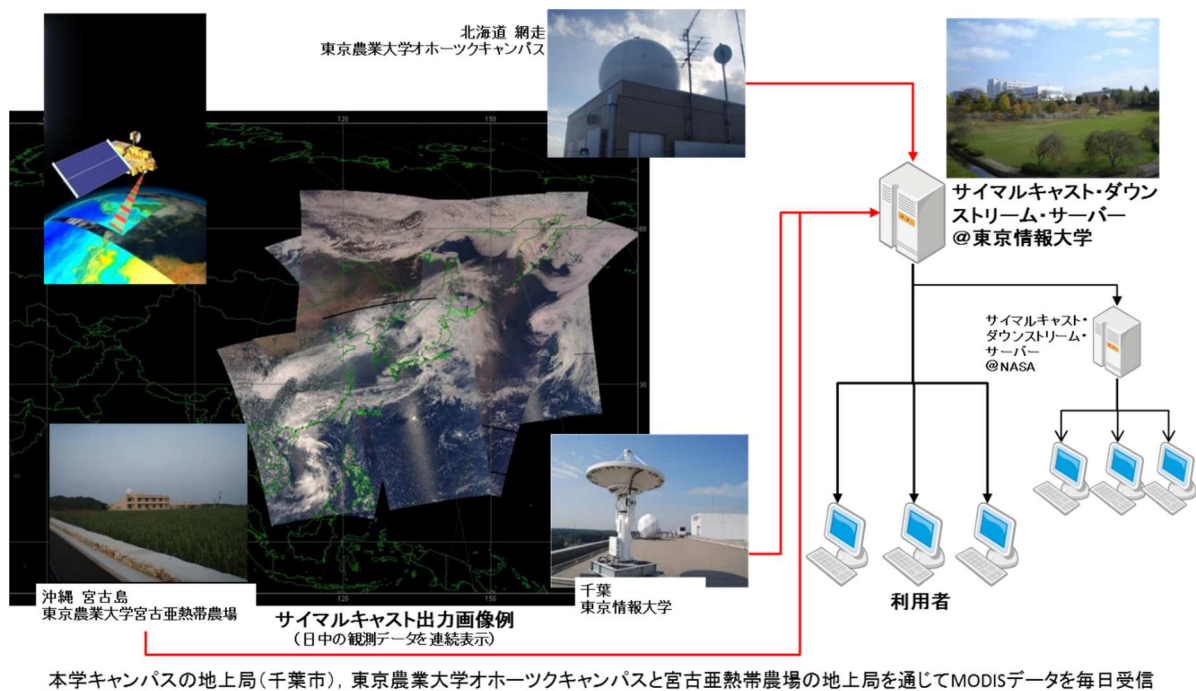
一方で、森林の二酸化炭素の収支を把握することが地球温暖化問題の解明に貢献すると考えられ、継続的かつ広域的な森林の現況把握が可能なTerra/Moderate Image Scanning Radiometer (MODIS) やLandsat/ Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)、NOAA/ Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) などの衛星に搭載された光学センサによる地球観測データを用いた研究が報告されている^{4), 5), 6), 7), 8), 9), 10), 11), 12), 13)}。これら既往研究のうち、Terra/MODISデータから算出されたニホンカラマツ (*Larix kaempferi*) 林の植生指数とタワーフラックス観測による総一次生産量 (Gross Primary Production; GPP) との関連性が指摘され¹²⁾、また、Landsat/ETM+画像を用いて推定したシベリアカラマツ (*Larix sibirica*) 林の葉面積指数 (Leaf Area Index; LAI) 分布と林床植被率 (Forest Floor Vegetation Cover; FVC) 分布、純一次生産量 (Net Primary Production; NPP) 分布は対応していた⁷⁾。ニホンカラマツ (以下、カラマツ) やシベリアカラマツといったカラマツ属の樹種は高い光合成能力を持つことから¹⁴⁾、炭素固定能力が大きく¹⁵⁾、炭素固定能力の小さい広葉樹林よりも少ない森林面積で炭素吸収源としての役割が期待できる¹⁶⁾。また、森林生態系炭素収支の推定には樹種や森林タイプによる炭素固定能力の違い、土壌呼吸、伐採や火災による森林の減少などの物理現象を考慮した継続的なモニタリングが必要であり、継続的かつ広域的な森林の現況把握が可能な衛星を用いたリモートセンシングの貢献が期待される。

一方で、森林の現況を把握することは効率的な森林経営計画の策定に有効な情報として貢献し、航空写真を用いた森林の現況推定や樹種の区分が検討されているが^{17), 18), 19)}、個体差や気象条件などの影響を受けた黄葉 (紅葉) により、樹種の区分が判然としない場合があり¹⁸⁾、針葉樹と落葉樹の推定精度の違いが見られた¹⁹⁾。また、IKONOSやRapidEyeといった高分解能衛星データを用いた樹種の画像特性や森林タイプの分類について検討されているが、分類精度の向上には多時期データでの比較が必要と指摘されている^{20), 21)}。しかしながら、航空機やヘリコプタなどを利用する場合は機体運用と撮影の行程を経て行われるため²²⁾、時間とコストの問題がある。また、高分解能衛星データを入手する場合、撮影済みデータを購入するか新規撮影を依頼するため、無料で提供されている中分解能衛星のTerra/MODISデータ (NASA: <https://landsweb.nascom.nasa.gov/>) やLandsat-8データ (産業技術総合研究所: <http://www.airc.aist.go.jp/gsrtp/open-top.html>) に比べてコストが高い。さらに、タワー^{23), 24), 12), 13)}を利用した観測については機動性やコストの問題が指摘されており²⁵⁾、北海道苫小牧のフラックスタワーは台風第18号により倒壊した¹²⁾。このため、航空機や高分解能衛星データを用いた森林現況の把握や推定、樹種区分に必要な多時期あるいは時系列ごと

の観測データを継続して利用する場合、大量の観測データと膨大な費用が必要であり、タワー観測には機動性が求められる。

一方で、Landsat TM画像から取得された森林のスペクトルの季節変化（フェノロジー）が指摘されているため²⁵⁾、中分解能衛星データを用いた森林タイプのフェノロジーの解析が可能であると考えられる。また、環境省生物多様性センター（<http://www.biodic.go.jp/>）で実施している自然環境保全基礎調査植生調査の成果のうち、第6、7回植生調査で整備された縮尺1/2.5万植生図（以下、1/2.5万植生図）は公開されているが、全国统一基準で常緑広葉樹林と落葉広葉樹林を分類した地図が存在しないことから、1/2.5万植生図を検証用データにLandsat ETMとMODISデータを利用した常緑広葉樹林と落葉広葉樹林の分類が検討されており²⁶⁾、MODISデータから取得した植生のフェノロジーが分類結果向上に寄与していることを示唆したものの、針葉樹林を広葉樹林と誤分類する問題点が指摘された。植生のフェノロジーは気温と関連しており^{27), 28), 29), 30), 14), 31), 32), 33)}、また、2002年に北海道の網走地方で大規模な枯損被害（面積454 ha、材積37,970 m³、被害林分では平均約3割の立木が衰弱・枯死）を与えたカラマツヤツバキクイムシ³⁴⁾は、地球温暖化による世代数の増加に伴う被害の急速な拡大が懸念されている³⁵⁾。このため、衛星による植生フェノロジーの継続的な観測と気温を組み合わせた解析は森林タイプの分類結果向上のほか、地球温暖化による植生への影響評価に貢献すると考えられる。

多時期あるいは時系列ごとのMODISあるいはLandsatデータを用いた植生フェノロジーの解析結果は、樹種区分や森林タイプの分類を目的とした航空機や高分解能衛星による観測、あるいは現地調査・踏査への大局的な情報を提供し、効率的な撮影計画の作成や高分解能衛星の観測範囲決定、現地調査計画の作成に貢献することが考えられる。しかしながら、TerraやLandsat-7と8に搭載された光学センサは雲の下の植生を観測することができず、Landsat-7と8は16日おきに同一地点を観測する。このため、植生フェノロジーの解析に利用可能な同一観測範囲における時系列の各観測データは、16日おきの晴れの日の観測データとなり、植生フェノロジーを観測することは難しいと考えられる。一方で、MODISは1日で全球を観測することからLandsat-7と8よりも時間分解能が高く、東京情報大学（千葉県千葉市）では、東京情報大学、東京農業大学オホーツクキャンパス（北海道網走市）、東京農業大学宮古亜熱帯農場（沖縄県宮古島）に設置した3受信局からのTerra/MODISデータを毎日受信しており、日本全国の地表面を毎日観測したMODISデータが利用可能である（図(2)-1）。また、Landsat-7と8の空間分解能は15～100 mであり、MODISの空間分解能250～1000 mよりも高いが、Landsat-7観測データには2003年5月に起きたScan Line Corrector (SLC)の故障による観測データの欠損が見られ、2013年1月に運用が終了した。その後、2013年2月にLandsat-8が打ち上げられたが、2003～2013年までのLandsat観測データには欠損があり、Landsat-7の観測幅185 kmに対して、MODISの観測幅は2330 kmとより広域な観測が可能である。さらに1999年12月に打ち上げられたTerraによる観測データの蓄積は15年以上にわたり、MODISデータを活用することで継続的かつ広域的な植生フェノロジーの観測、および2003～2013年の観測データと2013年以降の観測データとの解析が可能である。



図(2)-1 東京情報大学におけるMODIS受信体制

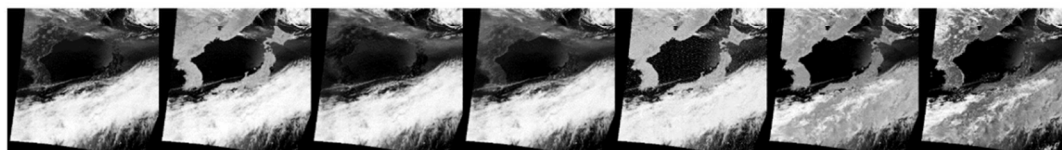
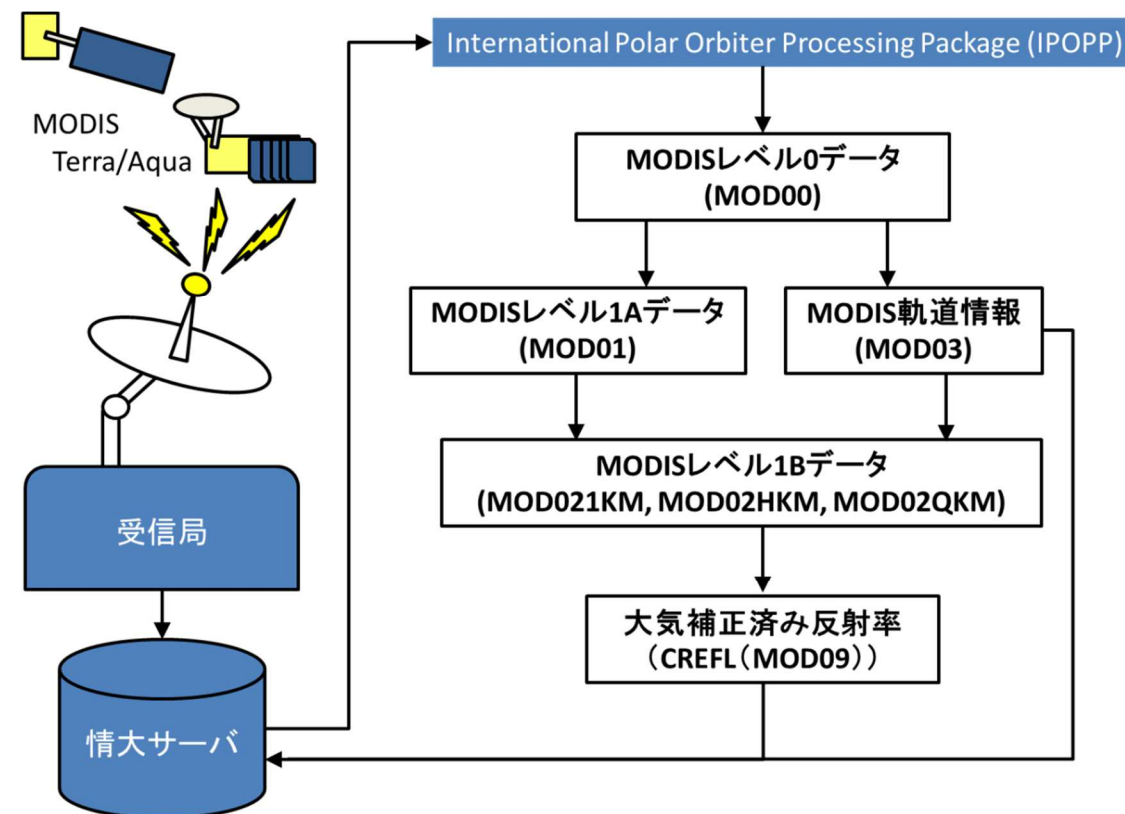
2. 研究開発目的

本研究では、地球温暖化問題の解明や自然災害からの再建計画、生物多様性の保全などに資するリモートセンシングの活用と植生図作成の開発の一環として、自然環境保全基礎調査に基づいて作成された植生図の整備と更新頻度の向上を目的に、時間分解能が高く、継続的かつ広域的に全国の地表面を観測したMODIS受信データを解析に活用するためのデータセットを作成し、作成したデータセットを用いた植生現況図の作成、および土地被覆の変化の検出と相観レベルの下の階層クラスの識別について検討した。

3. 研究開発方法

(1) MODIS受信データの整備及び解析

1) データセット作成



バンド数	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	Band7
波長	: 620-670 nm	841-876 nm	459-479 nm	545-565 nm	1230-1250 nm	1628-1652 nm	2105-2155 nm
分解能	: 250 m	250 m	500 m	500 m	500 m	500 m	500 m

大気補正済み反射率 (Corrected Reflectance (CREFL)) バンド1~7

図(2)-2 MODIS受信データ処理

図(2)-2にMODIS受信データ処理を示す。MODIS受信用HDD (1ヶ月分バックアップ用を含む2台) を東京情報大学のサーバーに設置し、東京農業大学オホーツクキャンパス (網走) ・東京情報大学 (千葉) ・東京農業大学宮古亜熱帯農場 (宮古島) の受信局が受信したMODIS受信データを記録した。NASAから提供されるInternational Polar Orbiter Processing Package (IPOPP) を用いて可視から近赤外のBand1~Band7で構成される大気補正済み反射率 (CREFL (MOD09)) およびMOD03データセットを生成し、コンポジットデータ作成のための基盤データとして整備した。また、Land Processes Distributed Active Archive Center (LPDAAC (<https://lpdaac.usgs.gov/>)) から提供されるMODIS Reprojection Tool Swath (MRT Swath) を用いて幾何補正されたCREFLバンドデータを生成した。CREFLバンドデータの値はスケール係数を持つ16ビット符号付き整数として格納されており、スケールされていない反射率は次式により与えられる。

$$\text{unscaled} = DN \times 0.0001 \quad (1)$$

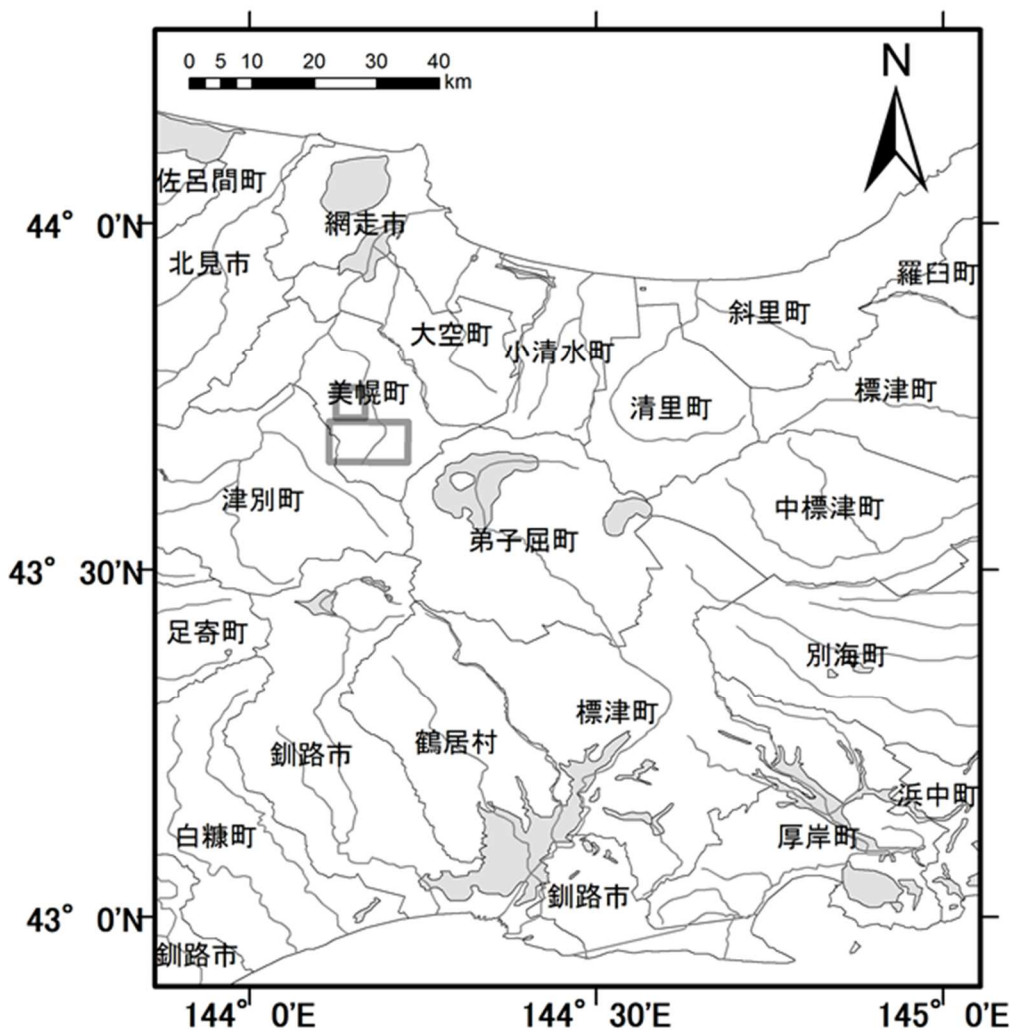
ここで unscaled はスケールされていない反射率、 DN はDigital Number (DN) を示す。

2) 落葉樹林タイプ間の植生フェノロジーの検出

a. MODISデータ植生図化における北海道の落葉樹林について

カラマツは成長が速く、乾燥に耐え、痩せた土壌でも生育する能力があり、溶岩地などの劣悪土質や地滑り跡などの新しく形成された裸地に好んで成林する³⁶⁾。このため、戦後の復興造林期以降の北海道において短伐期樹種としてカラマツ（とくに民有林）が大量に植栽されているが、カラマツ先枯病の蔓延により道有林の造林面積は1963～1964年に急減した³⁷⁾。また、石炭産業の衰退による坑木としての需要低下やパルプ材価格の低迷により、全道の人工林全体に占めるカラマツの蓄積割合は1975年の67.7%から1995年の52.7%に低下したが³⁸⁾、半数以上を占めている。さらに、近年の木材加工技術の発展により割れや狂い、ヤニが出るといった板材やパルプ材としてのカラマツの欠点は見直されており³⁹⁾、北海道の森林づくり基本計画⁴⁰⁾による森林の整備・保全と利用推進の動きも高まっている。

網走を含む道東地方ではカラマツを主体とする林業の中心地のひとつである^{37), 38)}。また、2014年4月1日の全振興局の針葉樹401,287千m³、広葉樹366,361千m³に対して道東（空知・上川・オホーツク・十勝振興局）の針葉樹が241,589千m³、広葉樹が172,015千m³であり、道東だけで針葉樹が60%、広葉樹が47%を占めている⁴¹⁾。このうち、人工林であるトドマツとカラマツ類の合計は網走を含むオホーツク振興局に多く、広葉樹ではカンバ類、次いでナラ類が多いため、広大な北海道の人工林あるいは自然林、二次林の現況はMODISに観測されることが考えられた。MODISデータから落葉針葉樹林であるカラマツ人工林と落葉広葉樹林とを識別できれば、北海道におけるMODISデータを用いた植生図化の精度向上に貢献すると考えられる。さらに、北海道の森林づくり基本計画⁴⁰⁾のうち、森林の貯蓄量は2011年度の743,000千m³（炭素貯蔵量297,000千t-C相当）から2032年度の961,000千m³（炭素貯蔵量384,000千t-C相当）を目標に設定しており、今後、森林の整備・保全と利用による森林生態系炭素収支への影響が考えられることから、森林タイプ間の炭素固定能力の差異についての検討への貢献が期待できる。一方で、落葉広葉樹であるシラカンバ（*Betula platyphylla* var. *japonica*）は、北海道林業試験場において10月中に落葉することが報告されている⁴²⁾。また、落葉針葉樹であるカラマツの黄葉日と落葉日（樹冠当たり80%以上）は北海道演習林において11月に観察されており、カラマツの黄葉のピークは11月6～8日と報告されている¹⁴⁾。シラカンバの黄葉・落葉の時期に比べてカラマツの黄葉・落葉の時期は遅いことが予想されるが、黄葉・落葉の時期は気温の影響を受けるため、位置や標高などによって異なる。しかしながら、落葉針葉樹林と落葉広葉樹林との位置や標高が同じ条件下において植生フェノロジーの差異が衛星に観測されれば、カラマツ人工林と落葉広葉樹林との識別に寄与する情報となることから、本解析では1/2.5万植生図とRapidEyeデータを検証用データとして、北海道・道東地方のカラマツ人工林と落葉広葉樹林の植生フェノロジーの差異の検出を行った。図(2)-3は北海道・道東地方の地図であり、図中の2つの口はRapidEyeによる美幌町の観測域を示す。



図(2)-3 北海道・道東地方の地図

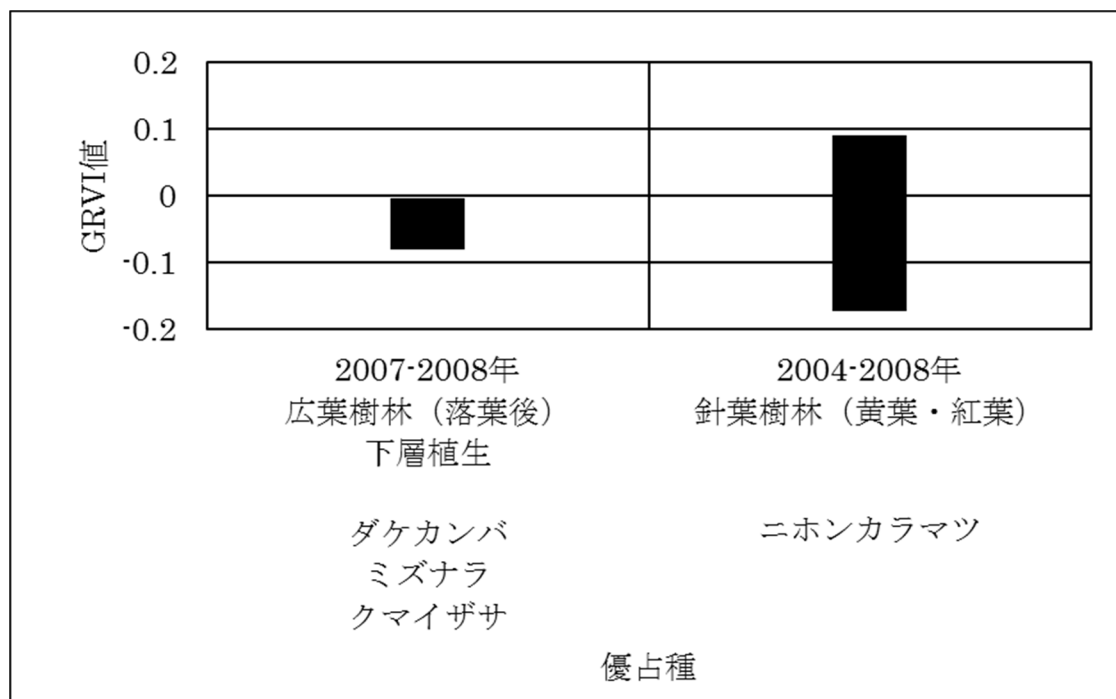
b. 人工衛星あるいはカメラを用いた植生のフェノロジー観測

植物の反射スペクトルを利用したNDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ⁴³⁾やEVI (Enhanced Vegetation Index) ⁴⁴⁾、GRVI (Green-Red Vegetation Index) ^{43), 24), 12), 13)}などの植生指数と植生フェノロジーの関連性は議論されており、GRVIはNDVIとEVIよりも季節による葉の色の変化や光合成能力の変化の検出に有用である⁴⁵⁾。また、MODISデータから算出したカラマツ林のGRVIの変化は、カメラから算出したカラマツ林のGRVIの変化と相似していた¹²⁾。一方で、森林の反射スペクトルの季節変化に葉の色と含水率の変化が指摘されており²⁵⁾、落葉広葉樹の水分の保持力は落葉前に低下することから⁴⁶⁾、林冠の水分量によく応答する中間赤外 (SWIR) を使用したNDWI (Normalized Difference Water Index) ^{47), 48), 49), 50)}は森林タイプ間の植生フェノロジーの差異の検出に有用であると考えられる。CREFLデータの各バンドを用いたGRVI、NDWIは次式により与えられる。

$$GRVI = (Band4 - Band1) / (Band4 + Band1) \quad (2)$$

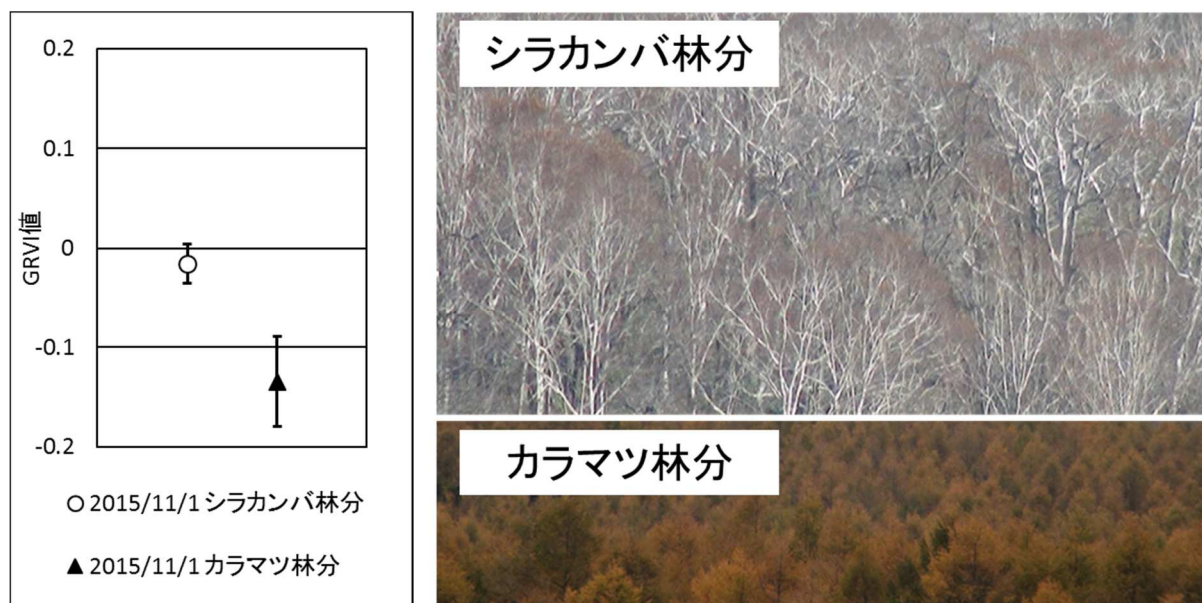
$$NDWI = (Band2 - Band7) / (Band2 + Band7) \quad (3)$$

ここでBand1、Band2、Band4、Band7はCREFLのバンドと対応する。



図(2)-4 林冠上設置カメラGRVI²⁴⁾

図(2)-4はタワー上に設置された分光放射計とカメラにより観測された高山（36.1462°N、137.4231°E）の落葉広葉樹林と富士北麓（36.4436°N、138.7647°E）の落葉針葉樹林のGRVIである²⁴⁾。図(2)-4で落葉広葉樹二次林であるカンバ類のダケカンバ（*Betula ermanii*）とナラ類のミズナラ（*Quercus crispula*）、さらにはクマイザサ（*Sasa senanensis*）が優占種のGRVIは0付近の値を示し、落葉後の広葉樹林と下層植生のGRVIとして報告されている。また、ニホンカラマツ林が優占種であるGRVIは-0.1よりも小さくなる傾向が見られ、黄葉した針葉樹林のGRVIとして報告されている。しかしながら、図(2)-4の黄葉した針葉樹林のGRVIは2007年10月20日～11月20日と2008年10月12日～11月19日の期間に観測された値の範囲を示し、落葉後の広葉樹林のGRVIは2004年4月20日～5月13日と11月5日～12月5日、2005年4月28日～5月20日と11月12～29日、2006年5月6～21日と11月7日～12月1日、2007年4月21日～5月21日と11月10～11日、2008年4月24日～5月12日と11月8～18日の期間に観測された値の範囲を示しているため、落葉あるいは黄葉の進行状況によってGRVIが変動すると考えられた。

図(2)-5 デジタルカメラGRVI⁵¹⁾

一方で、図(2)-4は2015年11月1日にSONYのHDR-CX370Vを用いてオホーツク流氷館天都山展望台(44.0014°N、144.2399°E)から撮影した北海道・網走のカラマツ林分のGRVI(サンプル数1,907,481の平均値)、美幌峠展望台(43.6477°N、144.2486°E)から撮影したシラカンバ林分のGRVI(サンプル数1,126,786の平均値)を示し、エラーバーは標準偏差を示す⁵¹⁾。図(2)-5で黄葉のピークを迎えるかのようにわずかに緑を残して橙色に黄葉していたカラマツ林分のGRVIは-0.1付近の値を示し、落葉により太陽光に白く反射した枝が一際目立っていたシラカンバ林分のGRVIは0付近の値を示した。橙色は赤に近い色であり、式(2)の理論上、GRVIの値は赤の反射率(CREFLのBand1)が高くなるほど小さくなる。図(2)-4と図(2)-5で下層植生を含む落葉後の広葉樹林のGRVIは0付近の値を示し、黄葉した針葉樹林のGRVIは-0.1付近の負の値を示すことから、落葉期における落葉樹林の黄葉・落葉の指標として用いた。

c. MODISデータのノイズ除去

衛星天頂角の大きいMODISデータの空間分解能は低く、ノイズであるため、衛星天頂角は40度以下であることが望ましい⁵²⁾。また、MODISは雲・雪氷といったノイズによって植生を観測できないため、白指数(White Index(WI))⁵³⁾などの手法を用いてMODISデータから雲を除去する必要がある。そして、本解析ではWI値1.0を雲・雪氷として、WI値0.05未満かつ衛星天頂角40度未満のCREFLバンドデータを使用した。CREFLデータの各バンドを用いたWIは次式により与えられる。

$$WI = (Band1 + Band3 + Band4 - 1.5 \times Band7) / 210. \times 100 \quad (4)$$

ここでBand1、Band3、Band4、Band7はCREFLのバンドと対応する。

d. RapidEyeデータの大气補正

RapidEyeは2008年に打ち上げられた商用衛星であり、表(2)-1のように可視域から近赤外の波長帯(バンド1~5)を持ち、空間分解能はMODISの250 mと比べてリサンプリング後5 mと高分解能である。オルソ製品(Level 3A)のDN値を大気上端反射率に変換するには式(5)と式(6)が用いられる⁵⁴⁾。

表(2)-1 RapidEye諸元表⁵⁴⁾

MISSION CHARACTERISTIC	INFORMATION	
Spectral Bands	Capable of capturing all of the following spectral bands:	
	Band Name	Spectral Range (nm)
	1. Blue	440 - 510
	2. Green	520 - 590
	3. Red	630 - 685
	4. Red Edge	690 - 730
5. NIR	760 - 850	
Ground sampling distance (nadir)	6.5 m	
Pixel size (orthorectified)	5 m	
Swath Width	77 km	

$$RAD(i) = DN(i) \times radiometricScaleFactor(i) \quad (5)$$

$$REF(i) = RAD(i) \frac{\pi \times SunDist^2}{EAI(i) \times \cos(SolarZenith)} \quad (6)$$

ここでRADは放射輝度、iは表(2)-1のバンド数、radiometricScaleFactorは定数0.01、REFは大気上端反射率、SunDistは地球-太陽間距離、EAIは大気圏外太陽照度、SolarZenithは太陽天頂角を示す。

e. 国土数値情報の取得

国土交通省国土政策局国土情報課GISホームページ (<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>) では、平成23年度に作成した標高・傾斜度5次メッシュデータ (250 mメッシュ)、および気象庁 (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>) が平成24年度に作成したメッシュ平年値2010 (1 kmメッシュ) のGISデータが公開されている。標高・傾斜度5次メッシュデータからメッシュごとの平均標高、最高標高、最低標高 (m) が取得でき、メッシュ平年値2010からメッシュごとの1~12月の各月の最高気温、最低気温、平均気温 (0.1℃単位) が取得できる。本解析では平均標高 (m) と月平均気温 (℃) を使用した。

f. 解析の流れ

RapidEyeバンドデータに大気補正処理を行い、2013~2014年8月と2012~2014年10、11月に道東を観測したCREFLバンドデータのノイズを除去した。次に、1/2.5万植生図のカラマツ植林 (カラマツ人工林) とシラカンバ-ミズナラ群落の分布に一致する森林が観測されたRapidEyeバンドデータとCREFLバンドデータを比較し、カラマツ人工林とシラカンバ-ミズナラ群落の反射率、平均標高 (m)、月平均気温 (℃)、NDWIの閾値を求めた。最後に、CREFLデータから10月と11月のGRVIデータを作成し、反射率、平均標高 (m)、月平均気温 (℃)、NDWIの閾値に一致する道東のカラマツ人工林のGRVIとシラカンバ-ミズナラ群落のGRVIを用いて、落葉期のカラマツ人工林と落葉広葉樹林の植生フェノロジーの差異の検出について議論した。

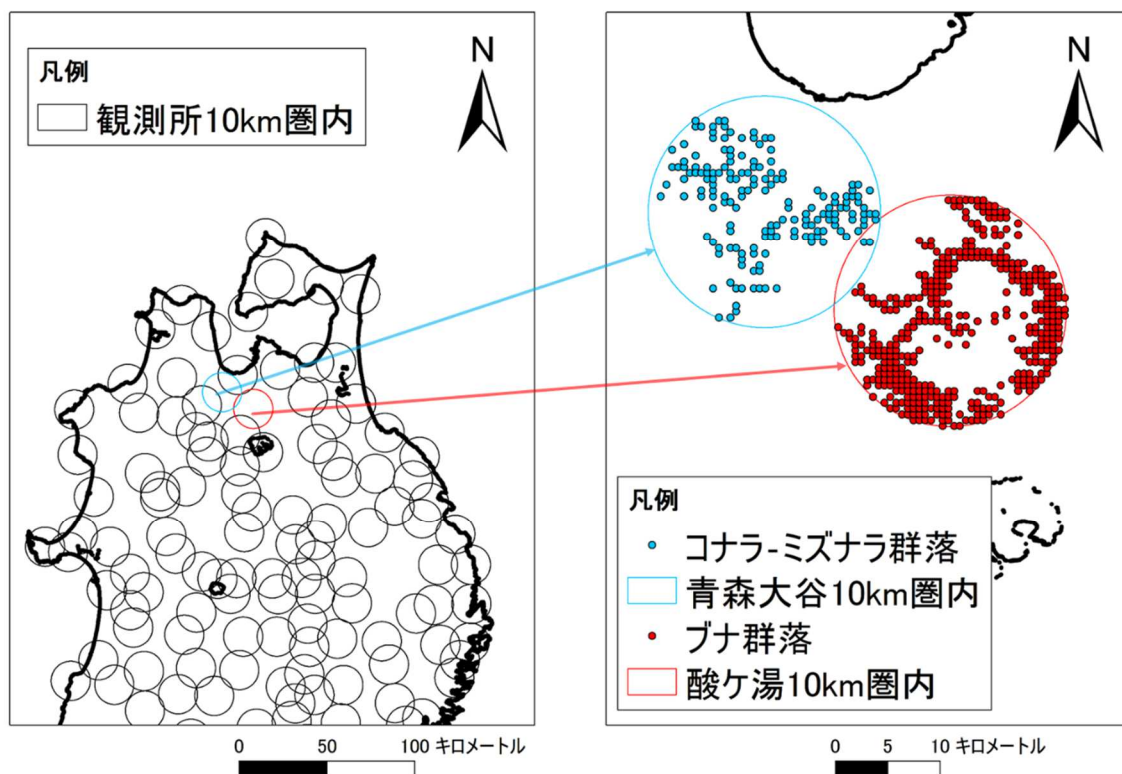
3) 落葉広葉樹林の優占群落間の植生フェノロジーの検出

a. MODISデータ植生図化における東北地方の落葉広葉樹林について

東北地方は冷温帯に位置し、落葉広葉樹林としてはブナ群落とコナラ属の2種 (ミズナラ、コナラ) の群落が広く分布している。また、サブテーマ1との植生現況図の作成において、開葉 (展葉) 期に観測されたMODISのNDVI値からブナ林、および、ミズナラ・コナラ林に区分できる可能

性が高いことが示唆された。しかしながら、1ヶ月分あるいは半月分⁵⁵⁾のMODIS観測データのコンポジットデータや月平均気温(°C)、平均標高(m)を用いており、開葉日の予測に用いられる日平均気温(°C)と積算温度(°C)は使用していない。本解析では東北地方における植生図作成手法開発の一環として、相観レベルの下の階層クラスを識別し、落葉広葉樹林の優占群落の分布を示した植生現況図作成のため、日平均気温(°C)を用いた開葉期のブナ林とコナラ・ミズナラ林のフェノロジーの識別について検討した。

b. 使用データ



図(2)-6 青森大谷観測所10 km圏内コナラ - ミズナラ群落 (青)
酸ヶ湯観測所10 km圏内ブナ群落 (赤)

気象庁 (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>) では全国に設置されたアメダス観測所の数値データが公開されている。はじめに、整備された東北地方の1/2.5万植生図の凡例をブナ群落(オシラビソ-ブナ群落、スズタケ-ブナ群団、チシマザサ-ブナ群団、ブナ群落、マルバマンサク-ブナ群集)とコナラ-ミズナラ群落(カシワ-ミズナラ群落、カスミザクラ-コナラ群落、クリ-ミズナラ群落、コナラ群落、ミズナラ群落)に再分類した。次に、東北地方に設置された各観測所のうち、ブナ群落とコナラ-ミズナラ群落が隣接している青森大谷観測所(標高198 m)と酸ヶ湯観測所(標高890 m)の日平均気温(°C)を使用した。また、青森大谷観測所と酸ヶ湯観測所の10 km圏内のノイズを除去した2012年4月~6月観測MODISデータと国土数値情報の平均標高(m)を使用した。図(2)-6に青森大谷観測所10 km圏内のコナラ-ミズナラ群落と酸ヶ湯観測所10 km圏内のブナ群落を示す。

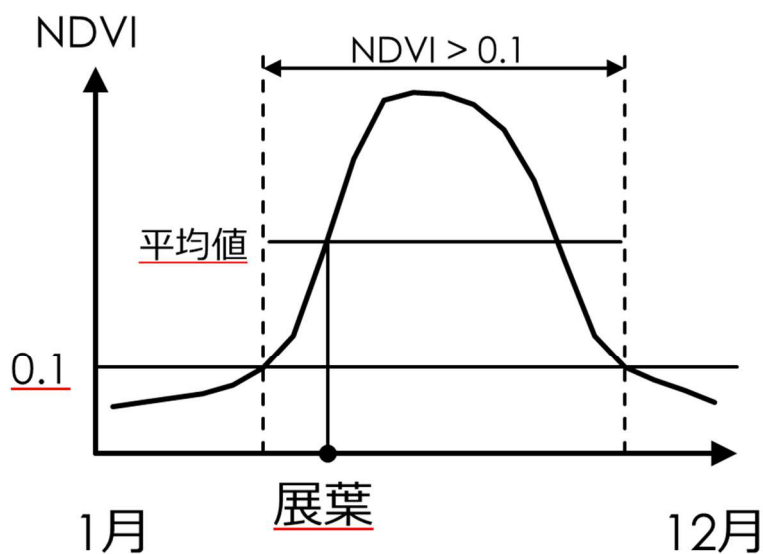
c. 開葉日の判定モデル

日平均気温の積算を用いた開葉日の判定モデル⁵⁶⁾が提案されており、2012年4月1日から青森大谷観測所と酸ヶ湯観測所の日平均気温（℃）を積算した。図(2)-7に開葉日の判定モデルを示す。

休眠打破	10℃
リセット	4℃以下
休止	1日7℃以上低下 2日10℃以上低下 8℃で再開
積算	5℃以上の日
開葉判定	積算気温120℃以上

図(2)-7 開葉日の判定モデル⁵⁶⁾

d. 展葉時期の定義



$$\left[\begin{array}{l} \text{NDVI}_t \geq 0.1 \\ \text{NDVI}_t \geq \text{NDVI}_{\text{threshold}} \end{array} \right]$$

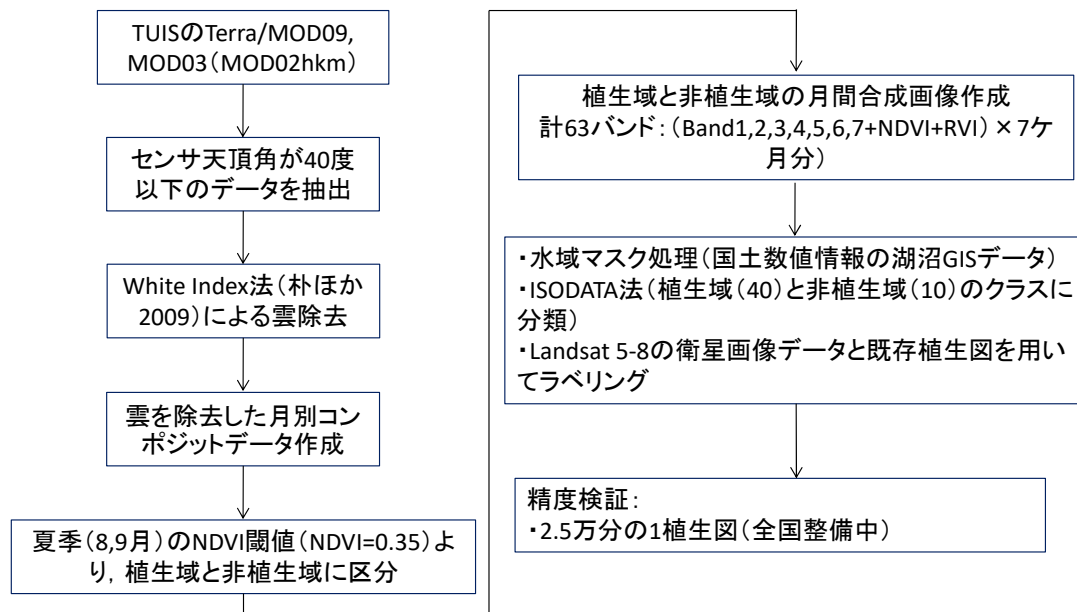
図(2)-8 平均値法による展葉時期の定義⁵⁷⁾

年平均NDVIを用いた平均値法による展葉時期の定義⁵⁷⁾が報告されており、2012年1月～12月にMODISが観測した0.1以上のNDVIの平均値を展葉時期のNDVIの指標として使用した。図(2)-8に平均値法による展葉時期の定義を示す。

(2) 多時期のコンポジットデータを用いた全国スケールの土地被覆分類図の作成

本学で受信しているTerra/MODISデータを用いて、雲を除去した多時期の月別コンポジットデー

タを作成し、全国スケールの現況植生図を把握する。土地利用・被覆図作成のフローチャートを図(2)-9に示す。



図(2)-9 土地利用・被覆図作成のフローチャート

1) 植生現況図（2013年度版）の作成

空間分解能が500 mのデータセットを用いて雲の除去を行なうためには、高頻度でデータを取得する必要がある。MODISデータの提供元であるNASAでは、大気補正済みのMOD09シリーズから雲を除去したコンポジット画像を提供しているが、日本全土を対象とした場合は雲の除去が不十分である。本学のMODISデータ観測体制は千葉キャンパスだけでなく、東京農業大学オホーツクキャンパス（網走市）、東京農業大学宮古亜熱帯農場（宮古市）の3地点に受信局を有し、オホーツク海からフィリピン全域を含む東アジア域のデータを高頻度で取得しているため、雲を除去した月別コンポジットデータを作成することにより、植生の季節変化を時系列で追うことが可能となる⁵⁸⁾。本研究では東京情報大学で受信している2013年4～11月のMOD09（空間分解能500 m）およびMOD03データのMOD09（空間分解能500 m）およびMOD03データを使用した。2013年の月別のコンポジットデータを作成するため、4月（171データ）、5月（139データ）、6月（144データ）、7月（124データ）8月（165データ）、9月（142データ）、10月（134データ）、11月（155データ）の計1174データを使用し、夏季（8, 9月）のNDVI閾値（NDVI = 0.35）より、植生域と非植生域に区分した。また、2014年の月別のコンポジットデータを作成するため、4月（177データ）、5月（162データ）、6月（166データ）、7月（109データ）8月（172データ）、9月（174データ）、10月（166データ）、11月（175データ）の計1301データを使用し、夏季（8, 9月）のNDVI閾値（NDVI = 0.35）より、植生域と非植生域に区分した。

更に、雲を除去した月別のコンポジットデータを統合した画像データ（Surface Reflectance Bands1-7 + NDVI + RVI）を作成し、国土数値情報の湖沼データを用いて水域のマスク処理を行い、教師なし分類を用いて全国スケールの土地被覆分類図を作成した。土地被覆分類図作成の解析および精度検証は画像解析用ソフトウェアENVI 5.1（Exelis VIS）を用いた。

土地被覆の分類項目はISODATA法（非階層的クラスター分析）により50項目に分類し、ArcGISを用いて次の9クラスに統合した：高山植生、常緑針葉樹林、落葉広葉樹林、常緑広葉樹林、針広混交林、草地、農地（畑地、水田）、都市域、水域（河川・湖沼）。各項目のラベリングには、環境省の第3回自然環境保全基礎調査植生図（5万分の1植生図）および第6、7回自然環境保全基礎調査植生図（2.5万分の1植生図）、直近のLandsat衛星データを参照した。

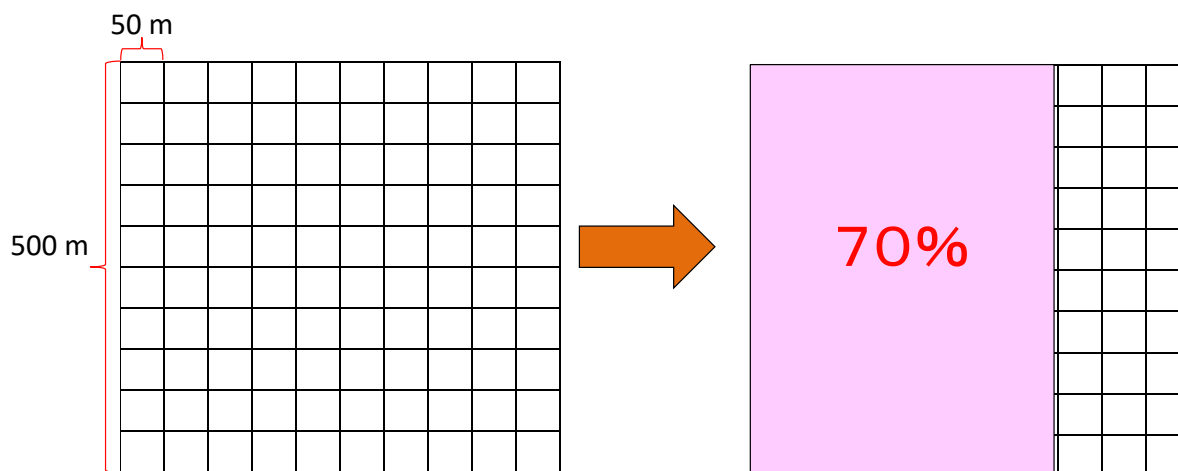
2) 植生現況図（2014年度版）の作成

本研究では東京情報大学で受信している2014年4～11月のMOD09（空間分解能500 m）およびMOD03データを使用した。月別のコンポジットデータを作成するため、4月（177データ）、5月（162データ）、6月（166データ）、7月（109データ）8月（172データ）、9月（174データ）、10月（166データ）、11月（175データ）の計1301データを使用し、夏季（8、9月）のNDVI閾値（ $NDVI = 0.35$ ）より、植生域と非植生域に区分した。更に、雲を除去した月別のコンポジットデータを統合した画像データ（Surface Reflectance Bands1-7 + NDVI + RVI）を作成し、国土数値情報の湖沼データを用いて水域のマスク処理を行い、教師なし分類を用いて全国スケールの土地被覆分類図を作成した。土地被覆分類図作成の解析および精度検証は画像解析用ソフトウェアENVI 5.2（Exelis VIS）を用いた。

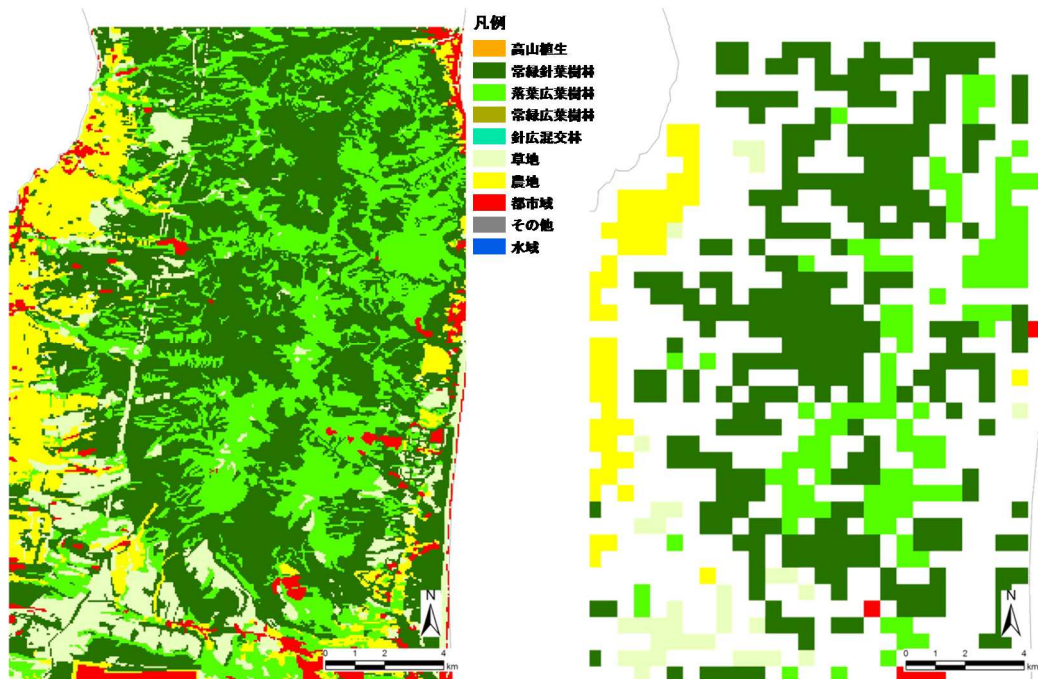
土地被覆の分類項目はISODATA法（非階層的クラスター分析）により50項目に分類し、ArcGISを用いて次の9クラスに統合した：高山植生、常緑針葉樹林、落葉広葉樹林、常緑広葉樹林、針広混交林、草地、農地（畑地、水田）、都市域、水域（河川・湖沼）。各項目のラベリングには、環境省の第3回自然環境保全基礎調査植生図（5万分の1植生図）および第6、7回自然環境保全基礎調査植生図（2.5万分の1植生図）、直近のLandsat衛星データを参照した。

3) 土地被覆分類図の精度検証

土地被覆図の精度検証は、第6、7回自然環境保全基礎調査のGISデータを用いて、平成26年度末までに整備されたベクタデータを50 m×50 mのラスタ画像に変換し、MODIS画像の1画素（500 m×500 m）内で土地被覆の7割以上の面積を占めるカテゴリーを土地被覆の代表値とした（図(2)-10、図(2)-11）。全国スケールの植生現況図（2013年版）を用いて、千葉県および東北地方において精度検証を行った。



図(2)-10 2.5万分の1植生図を用いたラベリング及び精度検証の概念



図(2)-11 2.5万分の1植生図を用いたラベリング及び精度検証(左図:空間分解能50 mのラスタ画像、右図:1画素(500 m)内で単一の土地被覆面積が7割以上のカテゴリーを代表値とした分布)

4) 東日本大震災の被災地における土地利用・土地被覆変化

我が国において、環境省の第6、7回自然環境保全基礎調査は1999年から植生図の全国整備を進めているが、2014年3月時点の整備率は68%に留まっており、福島県東部の浜通り地方の植生図は第3回自然環境保全基礎調査以降未整備の状況が続いている。

2011年3月11日の東日本大震災被災地では、地震や津波による農地への被害だけでなく、福島第一原子力発電所事故による風評被害や作付け制限により、今後更に非耕作農地が拡大することが予想される。本研究では、Terra/MODISデータを用いて、環境省で推進してきた第6、7回自然環境保全基礎調査植生図を補完するものとして、全国レベルの全国植生現況図(2011年版、2013年版)を作成して、被災地域全体をカバーする震災前と震災後の状況を広域的に把握する。

震災前の土地利用・被覆図作成は東京情報大学で受信している2010年4～11月のMOD09(空間分解能500 m)およびMOD03データを使用した。月別のコンポジットデータを作成するため、2010年4月(171データ)、5月(139データ)、6月(144データ)、7月(124データ)、8月(165データ)、9月(142データ)、10月(134データ)、11月(155データ)の計1174データを使用し、夏季(8、9月)のNDVI閾値($NDVI = 0.35$)より、植生域と非植生域に区分した。更に、雲を除去した月別のコンポジットデータを統合した画像データ(Surface Reflectance Bands1-7 + NDVI + RVI)を作成し、国土数値情報の湖沼データを用いて水域のマスク処理を行い、教師なし分類を用いて全国スケールの土地被覆分類図を作成した。土地被覆分類図作成の解析および精度検証は画像解析用ソフトウェアENVI 5.2(Exelis VIS)を用いた。土地被覆の分類項目はISODATA法(非階層的クラスタ分析)により50項目に分類し、ArcGISを用いて次の8クラスに統合した:常緑針葉樹林、

落葉広葉樹林、常緑広葉樹林、針広混交林、草地、農地（畑地、水田）、都市域、水域（河川・湖沼）。各項目のラベリングには、環境省の第3回自然環境保全基礎調査植生図（5万分の1植生図）および第6、7回自然環境保全基礎調査植生図（2.5万分の1植生図）、直近のLandsat衛星データを参照した。

更にTerra/MODIS衛星データと時間・空間分解能の異なるLandsat衛星データでの解析結果をもとにして、東日本大震災の被災地における土地利用・土地被覆変化の実態を明らかにした。南相馬市における震災前の土地被覆はUSGS（<http://www.usgs.gov/>）のLandsat-5/TMデータ（2009年6月2日）、震災後の土地被覆はUSGSのLandsat-8/OLIデータ（2014年5月31日）を使用した。また、土地被覆分類結果の精度検証は、RapidEyeデータ（2010年4月4日、2010年5月21日、2013年5月31日）を使用した。国土数値情報の湖沼データを用いて水域のマスク処理、福島県の行政区域データ（平成22年）を用いて南相馬市のマスク処理を行い、教師なし分類を用いて南相馬市の土地被覆分類図を作成した。NDVI閾値（ $NDVI = 0.3$ ）より植生域と非植生域に区分し、土地被覆の分類項目はISODATA法（非階層的クラスター分析）によりそれぞれ50項目に分類し、次の8クラスにラベリングした：常緑針葉樹林、落葉広葉樹林、針広混交林、草地、農地（畑地、水田）、都市域、その他、水域（河川・湖沼）。土地被覆図の精度検証は、現地調査（2012年9月1日～9月3日、2013年9月4日～6日、2014年8月24日～26日、2015年9月9日～9月11日、2016年8月23日～8月25日）のグラントゥールース（図(2)-12、図(2)-13）および環境省の第3回自然環境保全基礎調査植生図（5万分の1植生図）のGISデータおよびRapidEyeデータを利用した。



図(2)-12 南相馬における現地調査のグラントゥールース（2012年9月2日撮影、2014年8月26日撮影）



図(2)-13 南相馬における現地調査のグランドトゥールース（2014年8月26日撮影）

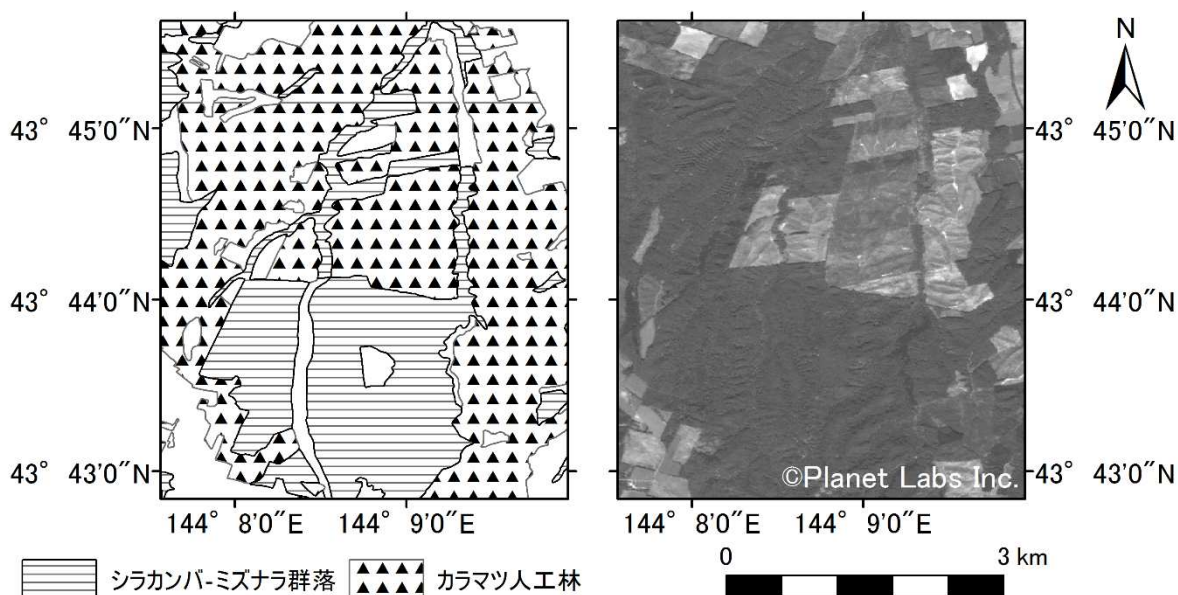
4. 結果及び考察

（1）MODIS受信データの整備及び解析

1) 落葉樹林タイプ間の植生フェノロジーの検出

a. 緑バンドによる森林の反射率の閾値

図(2)-14は美幌町におけるカラマツ人工林とシラカンバ - ミズナラ群落の1/2.5万植生図、および2014年8月30日に観測されたRapidEyeバンド2（緑）画像である。図(2)-14で1/2.5万植生図のカラマツ人工林（43° 44'0"N～43° 45'0"N、144° 9'0"E）はRapidEye画像では草原あるいは伐採跡地のように見えた。はじめに、RapidEye緑バンドデータの空間分解能を250 mに変換し、空間分解能250 mのCREFLバンド4（緑）期間合成データ（2013年8月1～31日と2014年8月1～31日の観測値の平均）を作成した。そして、草原／伐採跡地（43° 44'0"N～43° 45'0"N、144° 9'0"E）の反射率の平均値と森林（カラマツ人工林（43° 44'0"N～43° 45'0"N、144° 8'0"E）、シラカンバ - ミズナラ群落（43° 43'0"N～43° 44'0"N、144° 8'0"E～144° 9'0"E））の反射率の平均値とでWelchの t 検定（平均値の差の検定）を行った。



図(2)-14 （左）1/2.5万植生図 （右）2014/8/30観測RapidEyeバンド2（緑）画像 空間分解能5 m

表(2)-2にRapidEyeデータの統計データ（サンプル数、平均値、標準偏差、検定統計量（ t ）、棄却域（両側）、有意水準（ α ）、両側確率（ p ））、表(2)-3にCREFLデータの統計データを示す。表(2)-2と表(2)-3からは、検定統計量（ t ）は棄却域（両側）に入り、両側確率（ p ）は有意水準（ α ）よりも小さく、草原／伐採跡地と森林の緑の反射率には有意差が認められた。また、RapidEyeとCREFLの草原あるいは伐採跡地の反射率の平均はそれぞれ0.074と0.072であり、森林の反射率の平均は0.051と0.055であった。このため、本研究では、8月のCREFL緑バンドデータにおける森林の反射率の閾値を0.06未満とした。

表(2)-2 RapidEye緑バンド統計データ

1/2.5万植生図	カラマツ人工林	
	カラマツ人工林	カラマツ人工林 シラカンバ - ミズナラ群落
判読	草原／伐採跡地	森林
サンプル数	45	56
平均値	0.074	0.051
標準偏差	0.014	0.003
検定統計量(t)	10.93	
棄却域(両側)	2.012	
有意水準(α)	0.050	
両側確率(p)	0.000	

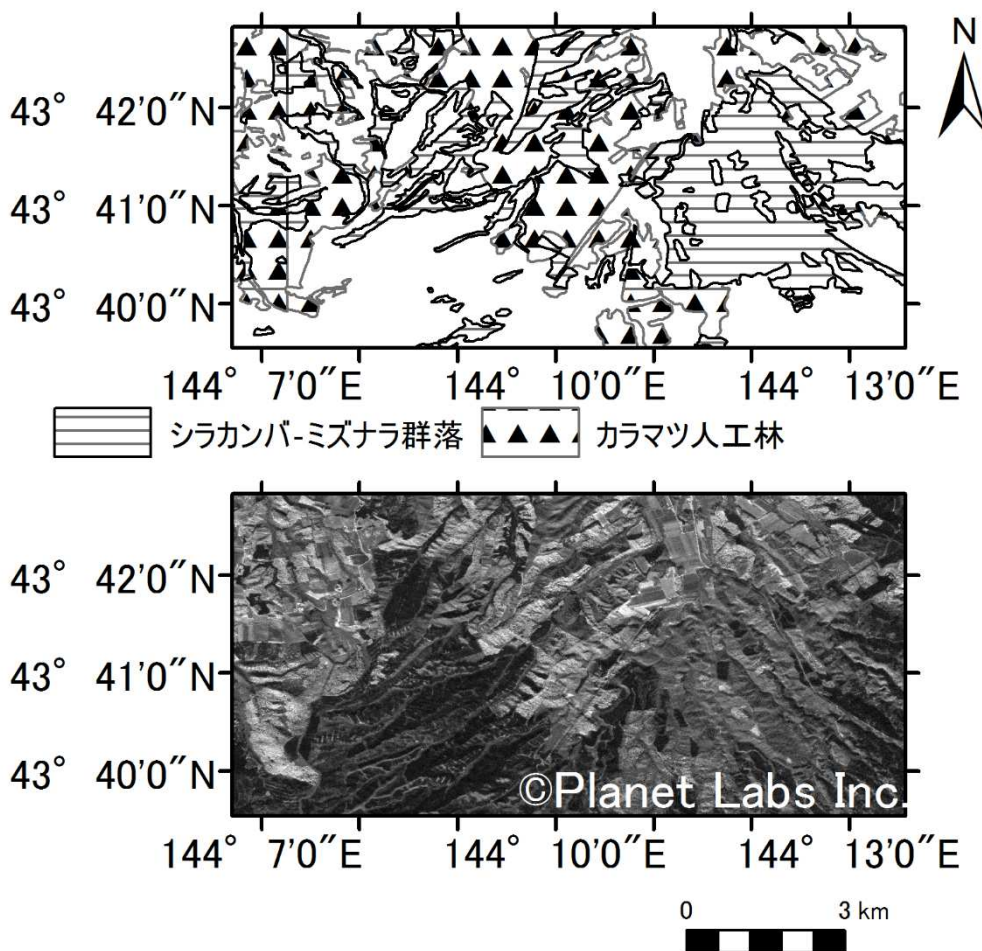
表(2)-3 CREFL緑バンド統計データ

1/2.5万植生図	カラマツ人工林	
	カラマツ人工林	カラマツ人工林 シラカンバ - ミズナラ群落
判読	草原／伐採跡地	森林
サンプル数	45	56
平均値	0.072	0.055
標準偏差	0.006	0.003
検定統計量(t)	16.37	
棄却域(両側)	1.998	
有意水準(α)	0.050	
両側確率(p)	0.000	

b. 赤バンドによる落葉樹林間の反射率の閾値

図(2)-15は美幌町におけるカラマツ人工林とシラカンバ - ミズナラ群落の1/2.5万植生図、および2012年11月13日に観測されたRapidEyeバンド3（赤）画像であり、RapidEye赤バンド画像上で反射率が高いほどより明るく見える。そして、カラマツ人工林（ $43^{\circ} 40' 0'' \text{ N} \sim 43^{\circ} 42' 0'' \text{ N}$ 、 $144^{\circ} 7' 0'' \text{ E} \sim 144^{\circ} 8' 0'' \text{ E}$ ）、 $(43^{\circ} 41' 0'' \text{ N} \sim 43^{\circ} 42' 0'' \text{ N}$ 、 $144^{\circ} 9' 0'' \text{ E} \sim 144^{\circ} 10' 0'' \text{ E})$ ）ではシラカンバ - ミズナラ群落（ $43^{\circ} 40' 0'' \text{ N} \sim 43^{\circ} 42' 0'' \text{ N}$ 、 $144^{\circ} 11' 0'' \text{ E} \sim 144^{\circ} 13' 0'' \text{ E}$ ）よりも高い反射率が観測された。また、図(2)-15のシラカンバ - ミズナラ群落の平均標高は100～300 mの範囲で観測されており、10月の平均気温は14.3～14.7℃、11月の平均気温は8.2～8.4℃であった。一方で、カラマツ人工林のサンプル数73のうち、平均標高100～300 mのサンプル数は50であり、10月の平均気温は14～14.8℃、11月の平均気温は7.7～8.4℃であった。このため、平均標高が100～300 m、10月の平均気温が14～15℃、11月の平均気温が7.5～8.5℃の条件に一致するカラマ

ツ人工林とシラカンバ-ミズナラ群落を検証対象とした。



図(2)-15 (上) 1/2.5万植生図 (下) 2012/11/13観測RapidEyeバンド3 (赤) 画像 空間分解能5 m

空間分解能250 m のRapidEye赤バンドデータとCREFLバンド1 (赤) データのカラマツ人工林 ($43^{\circ} 40'0''\text{N}\sim 43^{\circ} 42'0''\text{N}$, $144^{\circ} 7'0''\text{E}\sim 144^{\circ} 8'0''\text{E}$)、 $(43^{\circ} 41'0''\text{N}\sim 43^{\circ} 42'0''\text{N}, 144^{\circ} 9'0''\text{E}\sim 144^{\circ} 10'0''\text{E})$) の反射率の平均値間でWelchの t 検定を行い、さらに、シラカンバ-ミズナラ群落 ($43^{\circ} 40'0''\text{N}\sim 43^{\circ} 42'0''\text{N}$, $144^{\circ} 11'0''\text{E}\sim 144^{\circ} 13'0''\text{E}$) の反射率の平均値間でWelchの t 検定を行った。表(2)-4にカラマツ人工林の統計データ、表(2)-5にシラカンバ-ミズナラ群落の統計データを示す。ノイズ除去後に地表面が観測された2013年10月18日、29日、31日と11月5日、14日観測CREFL赤バンドデータのうち、11月5日観測のカラマツ人工林の反射率の平均値はRapidEye赤バンドデータにおける反射率の平均値と一致していた (表(2)-4)。そして、表(2)-4の検定統計量 (t) は棄却域 (両側) に入らず、両側確率 (p) は有意水準 (α) よりも大きいため、RapidEyeとCREFLの赤バンドデータのカラマツ人工林の反射率には有意差があるとはいえなかった。さらに、表(2)-5の検定統計量 (t) は棄却域 (両側) に入らず、両側確率 (p) は有意水準 (α) よりも大きいため、RapidEyeとCREFLの赤バンドデータのシラカンバ-ミズナラ群落の反射率には有意差があるとはいえなかった。

表(2)-4 カラマツ人工林統計データ

バンドデータ	2012/11/13	2013/11/5
	RapidEye赤バンド	CREFL赤バンド
サンプル数	50	50
平均値	0.075	0.075
標準偏差	0.013	0.011
検定統計量(t)	0.040	
棄却域(両側)	1.986	
有意水準(α)	0.050	
両側確率(p)	0.968	

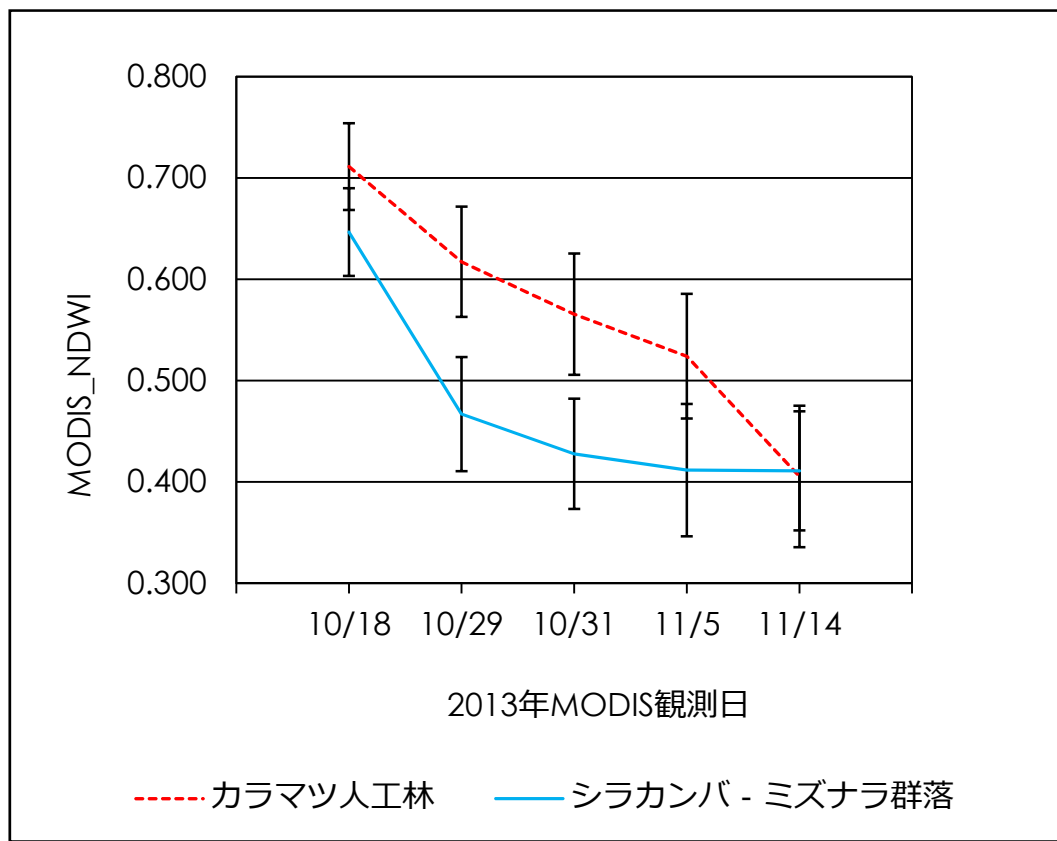
表(2)-5 シラカンバ - ミズナラ群落統計データ

バンドデータ	2012/11/13	2013/11/5
	RapidEye赤バンド	CREFL赤バンド
サンプル数	72	72
平均値	0.053	0.056
標準偏差	0.013	0.006
検定統計量(t)	1.560	
棄却域(両側)	1.984	
有意水準(α)	0.050	
両側確率(p)	0.123	

RapidEyeとCREFLの赤バンドデータのうち、カラマツ人工林の反射率の平均値は共に0.075であり、シラカンバ - ミズナラ群落の反射率の平均値はそれぞれ0.053と0.056であった。このため、本研究では、2013年11月5日観測のCREFL赤バンドデータにおけるカラマツ人工林の反射率の閾値が0.07以上、シラカンバ - ミズナラ群落の反射率の閾値を0.06未満とした。

c. 落葉樹林タイプ間のNDWIの閾値

図(2)-16は2013年10月18日、29日、31日と11月5日、14日のCREFLデータのうち、平均標高と平均気温の条件が一致するカラマツ人工林とシラカンバ - ミズナラ群落のNDWIの平均値であり、エラーバーは標準偏差を示す。図(2)-16の10月18日から10月29日に見られるシラカンバ - ミズナラ群落のNDWI平均値の低下は、カラマツ人工林のNDWI平均値の低下よりも大きく、NDWI平均値は0.5を下回っていた。そして、10月31日～11月14日までシラカンバ - ミズナラ群落のNDWI平均値は緩やかに低下し、NDWI平均値は0.4を下回らなかった。一方で、10月29、31日と11月5日のカラマツ人工林のNDWI平均値は0.5を下回ることなく緩やかに低下し、11月14日に0.5を下回ってシラカンバ - ミズナラ群落のNDWI平均値と接近していた。



図(2)-16 落葉樹林タイプ間のNDWIの比較

2013年10月29日、11月5日、11月14日に観測されたカラマツ人工林のNDWIとシラカンバ - ミズナラ群落のNDWIとでWelchの t 検定を行い、表(2)-6に10月29日観測NDWIの統計データ、表(2)-7に11月5日観測NDWIの統計データ、表(2)-8に11月14日観測NDWIの統計データを示す。10月29日と11月5日では検定統計量 (t) が棄却域 (両側) に入り、両側確率 (p) は有意水準 (α) よりも小さいため、有意差が認められたが、11月14日では検定統計量 (t) が棄却域 (両側) に入らず、両側確率 (p) は有意水準 (α) よりも大きいため、有意差があるとはいえなかった。

図(2)-16で2013年10月29日に平均値0.5を下回るNDWIの低下が観測され、カラマツ人工林よりも落葉が進行していたと考えられる。そして、10月29日と11月5日でシラカンバ - ミズナラ群落よりも落葉が進行していなかったと考えられるカラマツ人工林のNDWI平均値との間に有意差が認められた。一方で、11月14日に観測されたNDWI平均値は0.5を下回り、シラカンバ - ミズナラ群落のNDWI平均値との間に有意差があるとはいえなかったことから、カラマツ人工林のNDWI平均値が0.5を下回る落葉の進行は2013年11月6日以降と考えられた。このため、本研究ではNDWI値0.5を閾値として、2013年10月29日観測のカラマツ人工林のNDWIは0.5以上、シラカンバ - ミズナラ群落のNDWIは0.5未満とした。

表(2)-6 2013/10/29観測NDWI統計データ

1/2.5万植生図	カラマツ人工林	シラカンバ - ミズナラ群落
サンプル数	55	72
平均値	0.617	0.467
標準偏差	0.054	0.056
検定統計量(t)		15.08
棄却域(両側)		1.980
有意水準(α)		0.050
両側確率(p)		0.000

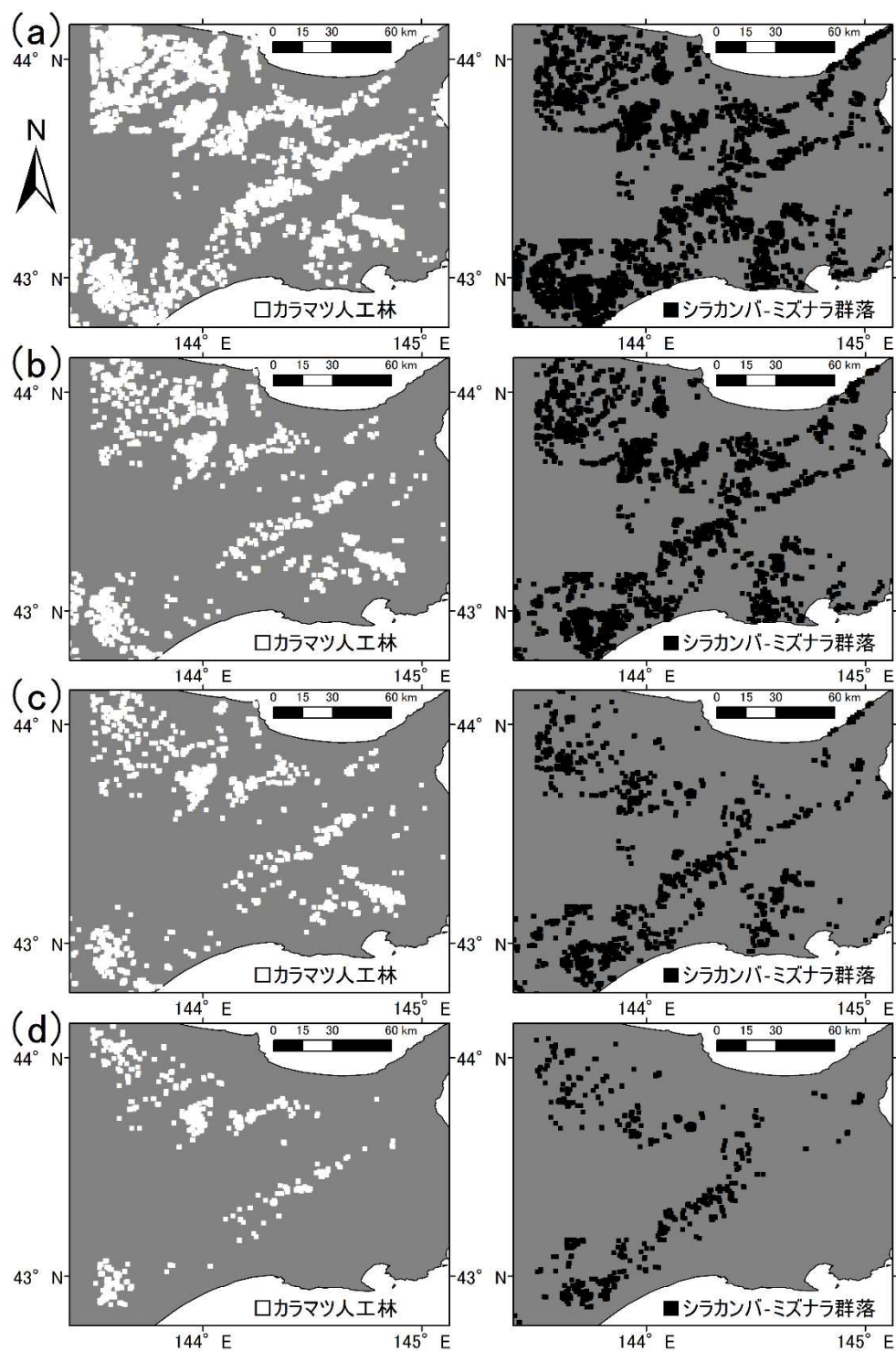
表(2)-7 2013/11/5観測NDWI統計データ

1/2.5万植生図	カラマツ人工林	シラカンバ - ミズナラ群落
サンプル数	50	72
平均値	0.524	0.412
標準偏差	0.062	0.065
検定統計量(t)		9.590
棄却域(両側)		1.982
有意水準(α)		0.050
両側確率(p)		0.000

表(2)-8 2013/11/14観測NDWI統計データ

1/2.5万植生図	カラマツ人工林	シラカンバ - ミズナラ群落
サンプル数	52	69
平均値	0.405	0.411
標準偏差	0.070	0.059
検定統計量(t)		0.450
棄却域(両側)		1.984
有意水準(α)		0.050
両側確率(p)		0.650

d. 道東地方における落葉樹林タイプ間のGRVIの差異の検出



図(2)-17 マスク処理後のカラマツ人工林（左）とシラカンバ - ミズナラ群落（右）分布図

- (a) 2013年8月と2014年8月観測CREFL緑バンドの反射率0.06未満
- (b) (a) 及び2013年11月5日観測CREFL赤バンドの反射率0.07以上（左）と0.06未満（右）
- (c) (b) 及び2013年10月29日観測NDWI値0.5以上（左）と 0.5未満（右）
- (d) (c) 及び平均標高100～300 m 10月の平均気温14～15℃ 11月の平均気温7.5～8.5℃

図(2)-17にCREFL緑・赤バンドデータの反射率とNDWIの閾値を用いたマスク処理後のカラマツ人工林の分布図、およびシラカンバ - ミズナラ群落の分布図を示す。はじめに、道東地方の1/2.5万植生図のカラマツ人工林とシラカンバ - ミズナラ群落の分布のうち、空間分解能250 mで平均化した2013年と2014年8月のCREFL緑バンドデータの反射率0.06未満の領域をカラマツ人工林マスク、シラカンバ - ミズナラ群落マスクとして作成した（図(2)-17 (a)）。また、図(2)-17 (a)のうち、2013年11月5日観測のCREFL赤バンドデータの反射率0.07以上の領域を新たなカラマツ人工林マスクとして作成し、反射率0.06未満の領域を新たなシラカンバ - ミズナラ群落マスクとして作成した（図(2)-17 (b)）。次に、図(2)-17 (b)のうち、2013年10月29日観測のCREFLバンドデータから算出したNDWI値0.5以上の領域を新たなカラマツ人工林マスクとして作成し、NDWI値0.5未満の領域を新たなシラカンバ - ミズナラ群落マスクとして作成した（図(2)-17 (c)）。最後に、図(2)-17 (c)のうち、国土数値情報の標高が100～300 m、10月の平均気温が14～15℃、11月の平均気温が7.5～8.5℃の領域を新たなカラマツ人工林とシラカンバ - ミズナラ群落のマスクとして作成した（図(2)-17 (d)）。

2013年11月5日観測CREFL赤バンドデータと2012年11月13日観測RpidEye赤バンドデータのカラマツ人工林は、反射率の平均値が一致し、有意差があるとはいえなかった。また、2013年10月18日、29日、31日と11月5日、14日のCREFL赤バンドデータのうち、最も高い反射率の平均値が観測されたのは11月5日である。このため、2013年11月5日観測CREFL GRVIデータのうち、カラマツ人工林とシラカンバ - ミズナラ群落のマスクと一致するGRVIを抽出し、Welchの t 検定を行った。表(2)-9に11月5日観測GRVIの統計データを示す。表(2)-9で道東地方のカラマツ人工林マスクのGRVI平均値は-0.133、標準偏差は0.053、シラカンバ - ミズナラ群落マスクのGRVI平均値は0.015、標準偏差は0.071であった。また、検定統計量（t）は棄却域（両側）に入り、両側確率（p）は有意水準（ α ）よりも小さく、カラマツ人工林マスクのGRVI平均値とシラカンバ - ミズナラ群落マスクのGRVI平均値には有意差が認められた。

表(2)-9 2013/11/5 観測 GRVI 統計データ

1/2.5 万植生図	カラマツ人工林	シラカンバ - ミズナラ群落
サンプル数	883	875
平均値	-0.133	0.015
標準偏差	0.053	0.072
検定統計量(t)		48.73
棄却域(両側)		1.961
有意水準(α)		0.050
両側確率(p)		0.000

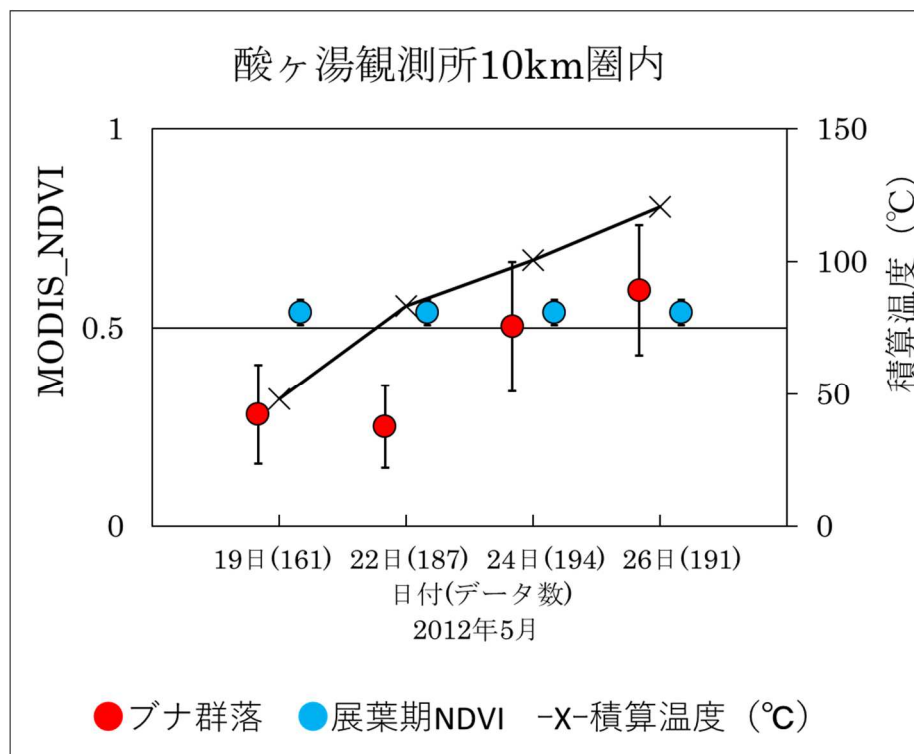
e. 考察

道東地方で1/2.5万植生図、CREFL緑・赤バンドデータ、NDWIデータ、月平均気温（℃）、平均標高（m）から選定したカラマツ人工林とシラカンバ - ミズナラ群落のGRVIでWelchの t 検定を行った結果、有意差が認められ、カラマツ人工林のGRVI平均値は-0.133、シラカンバ - ミズナラ群

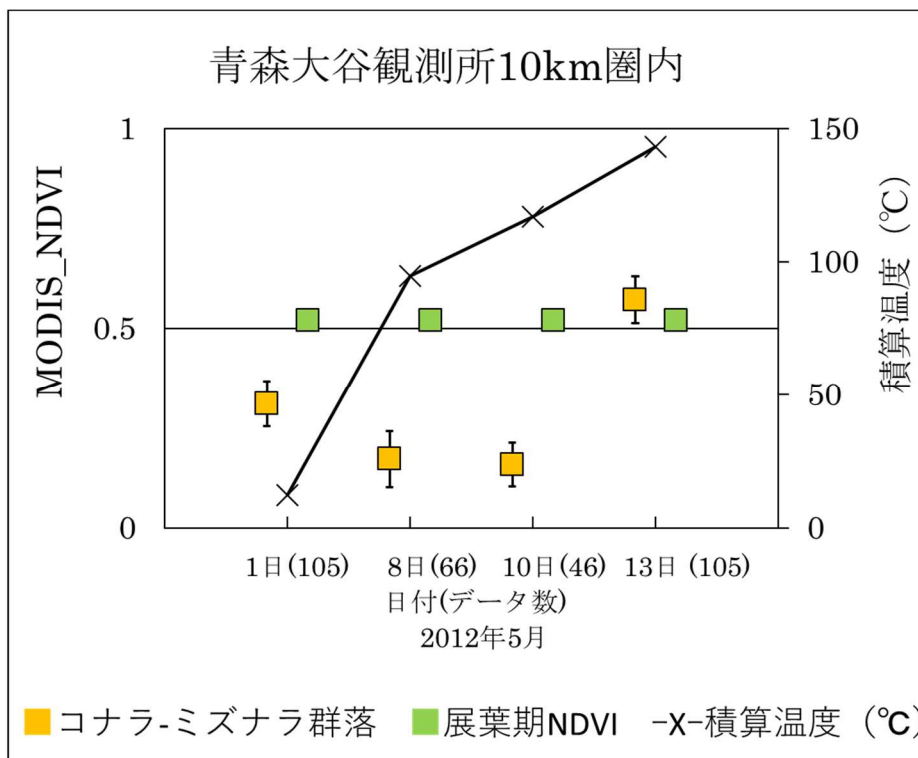
落のGRVI平均値は0.015であった。また、タワー上に設置された分光放射計とカメラにより観測された落葉後の広葉樹林の林冠と下層植生のGRVI、および落葉後のシラカンバ林の林冠のGRVIは0付近の値を示し、黄葉したカラマツ林の林冠のGRVIは-0.1よりも小さくなる傾向が観測されている^{24), 51)}。さらに、黄葉したカラマツの葉は橙色であり、GRVIの値は赤の反射率が高くなるほど小さくなるため、2013年11月5日観測CREFL赤バンドデータにおけるシラカンバ - ミズナラ群落の反射率よりも高いカラマツ人工林の反射率は、黄葉したカラマツ人工林の観測を示唆した。そして、2013年11月5日観測CREFLデータのうち、空間分解能250 mで黄葉を含んだカラマツ人工林が883ピクセル、カラマツ人工林よりも落葉が進行したシラカンバ - ミズナラ群落が875ピクセルに観測されたと考えられた。

広域的に毎日観測されたTerra/MODISデータには時間やコストの問題が少なく、MODIS観測データによる植生フェノロジーが森林タイプの分類結果向上に寄与するが、観測時期が分類の精度に影響を与える。落葉期の落葉針葉・広葉樹林の植生フェノロジーは気温の影響を大きく受けるため、位置や標高、年によって異なることから、標高や気温を組み合わせた解析が必要であると考えられた。本研究では、落葉針葉樹林であるカラマツ人工林と落葉広葉樹林であるシラカンバ - ミズナラ群落の落葉期の植生フェノロジーを検出するため、道東地方の1/2.5万植生図、国土数値情報、2時期のRapidEyeデータ、CREFLデータを組み合わせて解析した。この結果、平均標高が100～300 m、10月の平均気温が14～15℃、11月の平均気温が7.5～8.5℃の条件において、Terra/MODISデータから黄葉を含んだカラマツ人工林のGRVI値、カラマツ人工林よりも落葉が進行した落葉広葉樹林のGRVI値が観測され、相観レベルの下の階層クラスを識別するには有効であることが考えられた。

2) 落葉広葉樹林の優占群落間の植生フェノロジーの検出



図(2)-18 酸ヶ湯観測所 10 km 圏内のブナ群落の NDVI と積算温度



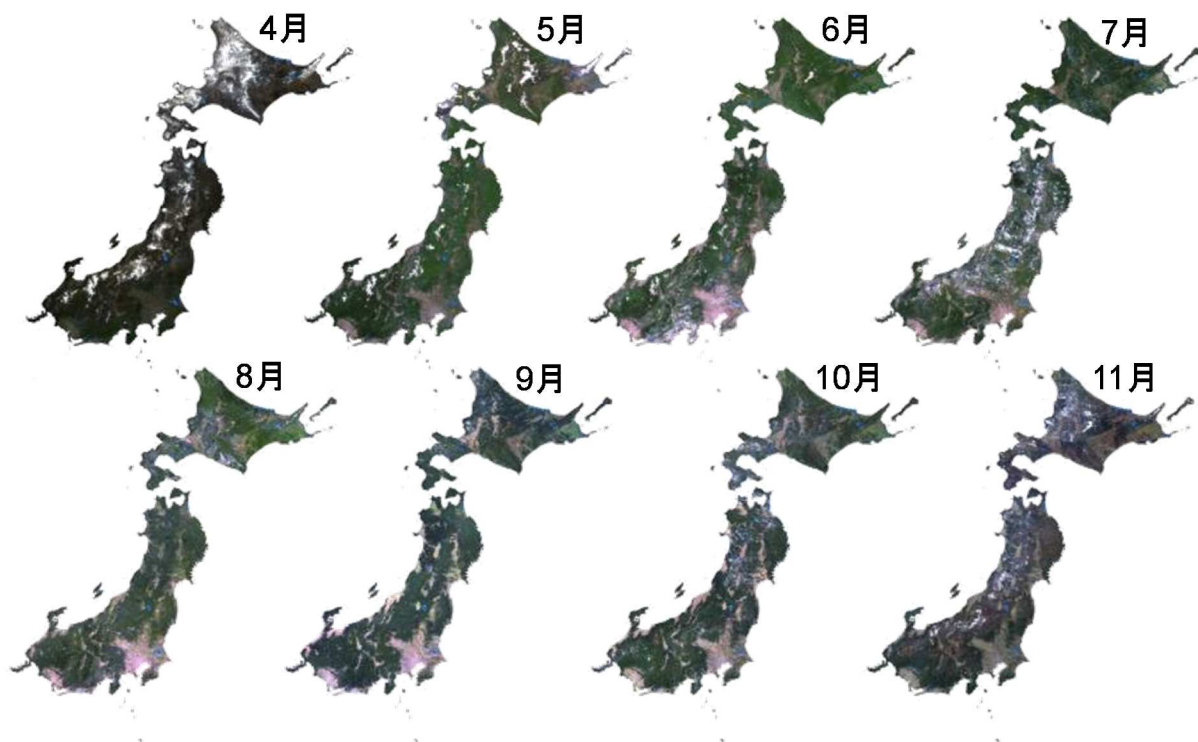
図(2)-19 青森大谷観測所 10 km 圏内のブナ群落の NDVI と積算温度

1/2.5万植生図、MODIS観測NDVI、日平均気温を用いて青森県にある気象観測所のうち、酸ヶ湯観測所と青森大谷観測所の10 km圏内にある落葉広葉樹林の優占群落をそれぞれブナ群落、コナラ-ミズナラ群落に統一し、2012年5月に観測された展葉期のNDVIと開葉日の積算温度を推算した。図(2)-18に酸ヶ湯観測所(標高890 m)にあるブナ群落(標高790~990 m)のNDVIと積算温度(°C)、図(2)-19に青森大谷観測所(標高198 m)にあるコナラ-ミズナラ群落(標高98~298 m)のNDVIと積算温度を示す。展葉期のNDVIはブナ群落とコナラ-ミズナラ群落ともに0.5を超えており、NDVI値0.5を超える日観測NDVIは酸ヶ湯観測所が5月24日で積算温度が約100°C、青森大谷観測所が5月13日で積算温度が約143°Cだった。ブナとミズナラが開芽に要した積算気温はブナが約135°C、ミズナラが約182°Cと報告されており⁵⁹⁾、開芽時期の差は47°Cである。MODISデータと日平均気温から推算されたブナ群落とコナラ-ミズナラ群落の開芽時期の差は約43°Cであり、落葉広葉樹林の優占群落の開葉時期の差異をMODISデータから検出するため、日平均気温を用いることが有効であると考えられた。そして、植生図作成手法開発の一環として、MODISデータと他の観測データを組み合わせることで相観レベルの下の階層クラスを識別し、落葉針葉樹林あるいは落葉広葉樹林の優占群落の分布を示した植生現況図作成に貢献することがわかった。

(2) 多時期のコンポジットデータを用いた全国スケールの土地被覆分類図の作成

1) 植生現況図(2013年度版)の作成

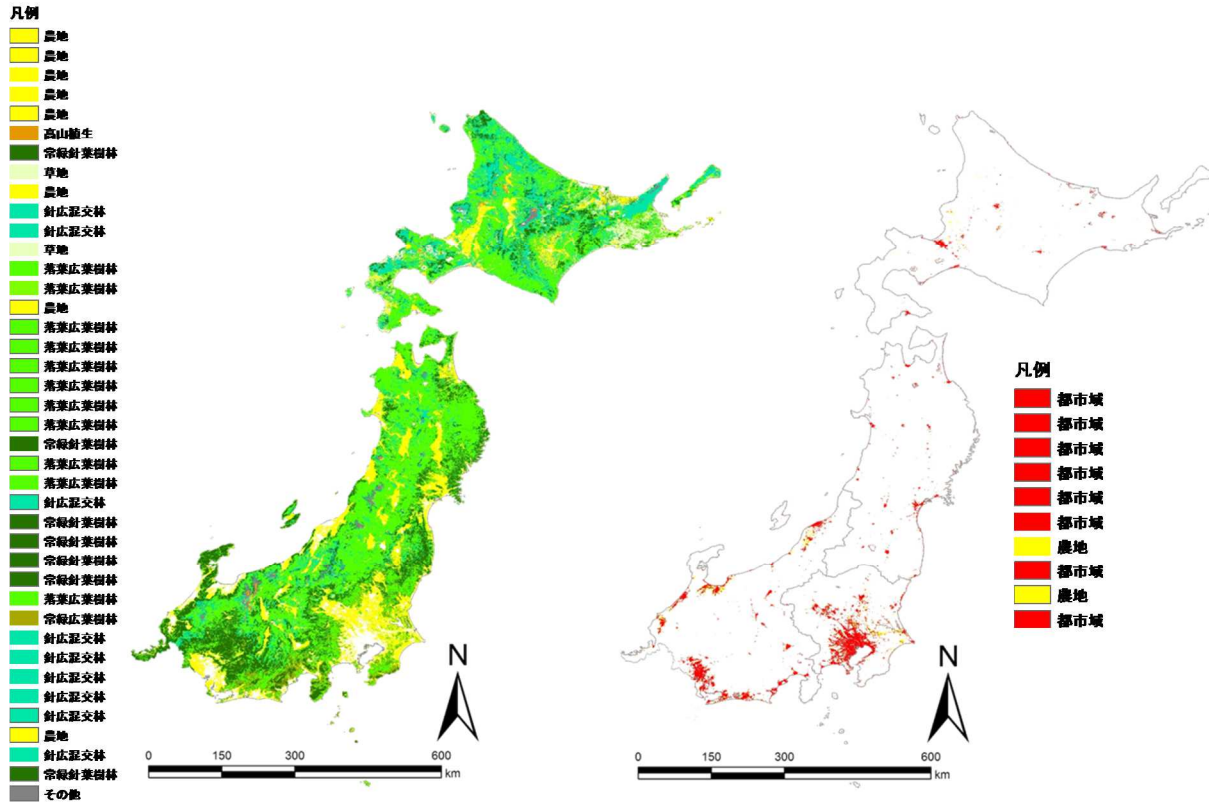
本研究では、画質が劣化したデータを除去するため、センサ天頂角が40度以下のデータを用いて、雲を除去した多時期の2013年の月別コンポジットデータを作成した(図(2)-20)。



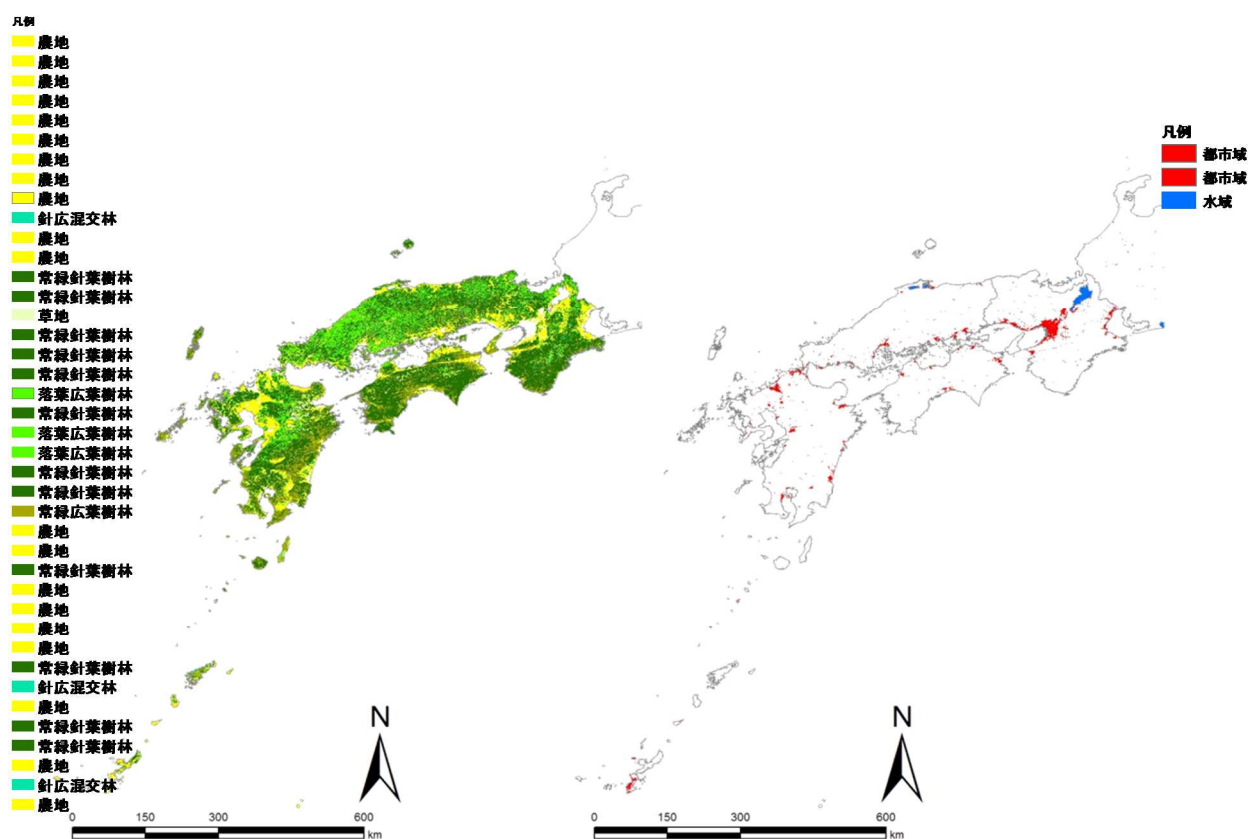
図(2)-20 Terra/MODISの月別コンポジットデータ（2013年4、5、6、7、8、9、10、11月）

7月の月別コンポジットデータはデータ数が他の月よりも少なく、雲の除去が不十分だったため、2013年4、5、6、8、9、10、11月の月別コンポジットデータを用いて全国スケールの土地被覆分類図を作成した。国土数値情報(国土交通省)の湖沼GISデータを用いて水域をマスク処理した後に、東日本（北海道地方、東北地方、中部地方、関東地方）と西日本（近畿地方、中国地方、四国地方、九州地方）に区分して、土地被覆の分類項目は非階層的クラスタリングのISODATA法により植生域を40、非植生域を10に分類した。その結果、東日本の植生域は農地8、草地2、高山植生1、針広混交林10、常緑広葉樹林1、落葉広葉樹林9、常緑針葉樹林8、その他（雪）1、東日本の非植生域は都市域8、農地2に分類された（図(2)-21）。西日本の植生域は農地20、草地1、針広混交林4、常緑広葉樹林1、落葉広葉樹林2、常緑針葉樹林12、西日本の非植生域は都市域2に分類された（図(2)-22）。土地被覆の参照データとして、2.5万分の1植生図（全国未整備）および5万分の1植生図（全国整備）のGISデータ、Landsat5-8の衛星画像データ（USGS）を用いて、東日本は9クラス（高山植生、常緑針葉樹林、落葉広葉樹林、常緑広葉樹林、針広混交林、草地、農地、都市域、その他（雪））、西日本は7クラス（常緑針葉樹林、落葉広葉樹林、常緑広葉樹林、針広混交林、草地、農地、都市域）にラベリング処理を行った。東日本と西日本でそれぞれ作成した土地被覆分類図を統合した全国スケールの植生現況図（2013年度版）の結果を図(2)-23に示す。土地被覆の分類項目は10クラス（高山植生、常緑針葉樹林、落葉広葉樹林、常緑広葉樹林、針広混交林、草地、農地、都市域、その他（雪）、水域）である。2014年8月11日～14日に調査を実施した冷温帯におけ

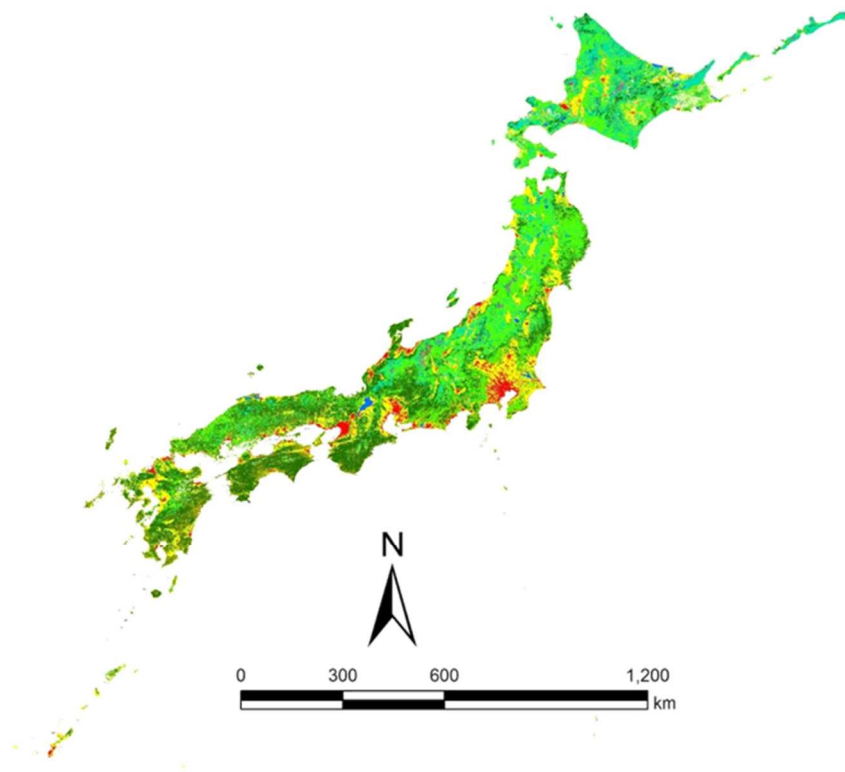
る代表的相観植生を低海拔域から高海拔域までの現地踏査により、植生現況図（2013年度版）の精度検証を行った。



図(2)-21 2013年（4、5、6、8、9、10、11月）のTerra/MODISデータ（解像度500 m）を用いた東日本の植生現況図



図(2)-22 2013年（4、5、6、8、9、10、11月）のTerra/MODISデータ（解像度500 m）を用いた西日本の植生現況図

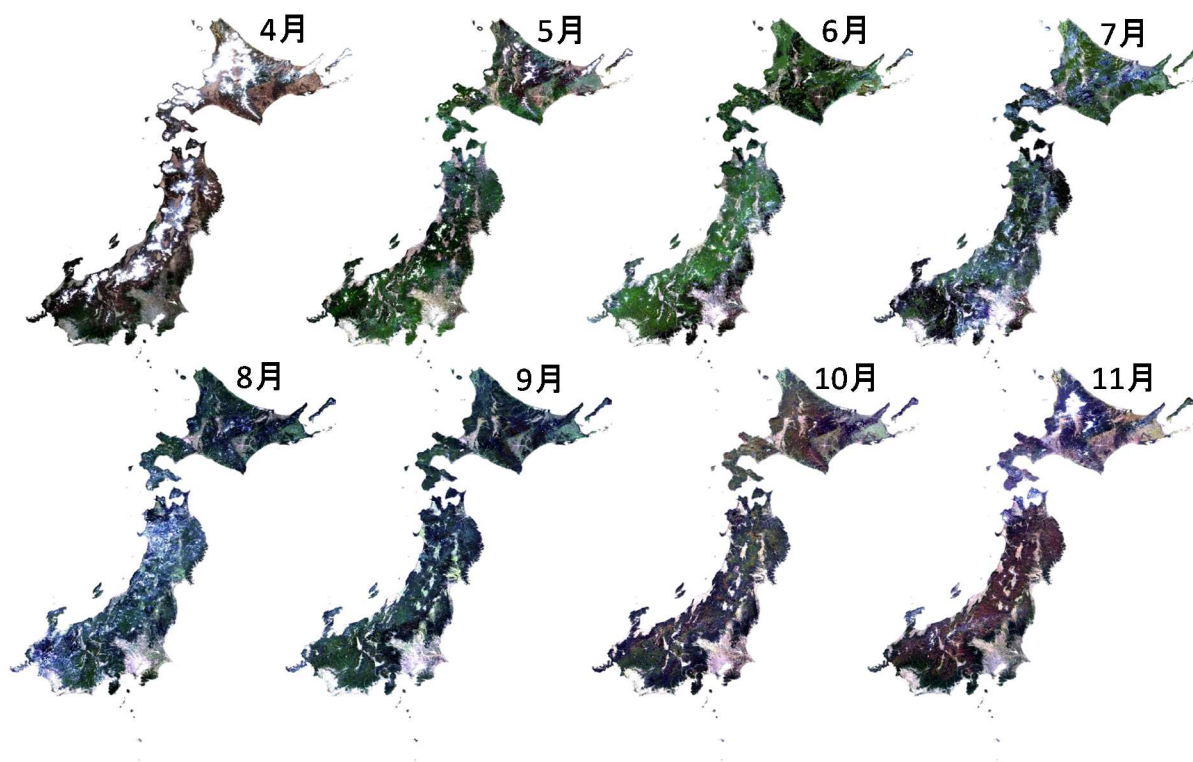


図(2)-23 2013年（4、5、6、8、9、10、11月）のTerra/MODISデータ（解像度500 m）を用いた日本全国の植生現況図

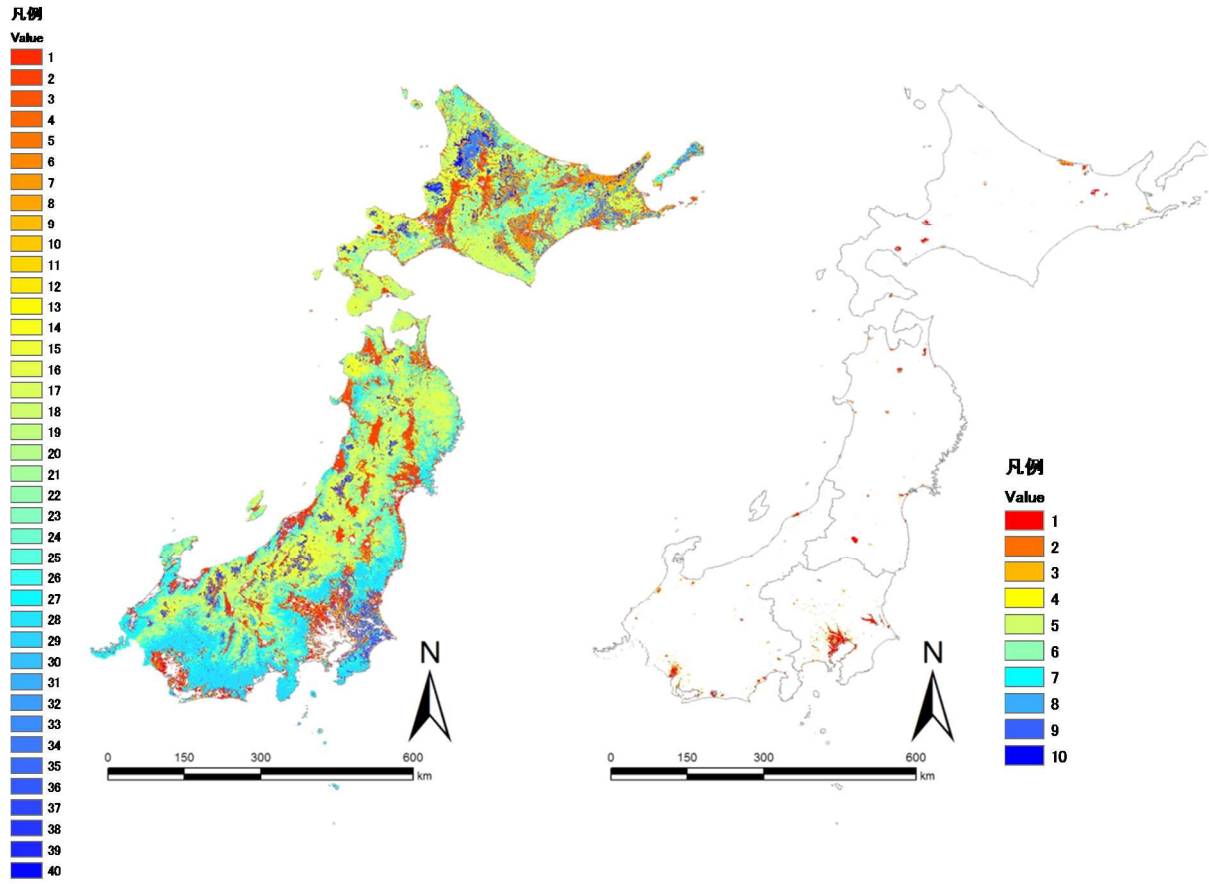
2) 植生現況図（2014年度版）の作成

本研究では、画質が劣化したデータを除去するため、センサ天頂角が40度以下のデータを用いて、雲を除去した多時期の月別コンポジットデータを作成した（図(2)-24）。8月の月別コンポジットデータは、雲の除去が不十分だったため、2014年4、5、6、7、9、10、11月の月別コンポジットデータを用いて全国スケールの土地被覆分類図を作成した。国土数値情報（国土交通省）の湖沼GISデータを用いて水域をマスク処理した後に、東日本（北海道地方、東北地方、中部地方、関東地方）と西日本（近畿地方、中国地方、四国地方、九州地方）に区分して、土地被覆の分類項目は非階層的クラスタリングのISODATA法により植生域を40、非植生域を10に分類した（図(2)-25、図(2)-26）。その結果、東日本の植生域は農地10、草地2、高山植生3、落葉広葉樹林14、常緑針葉樹林11、東日本の非植生域は都市域8、農地2に分類された（図(2)-27）。西日本の植生域は農地17、常緑広葉樹林4、落葉広葉樹林2、常緑針葉樹林12、西日本の非植生域は都市域2に分類された（図(2)-28）。土地被覆の参照データとして、2.5万分の1植生図（全国未整備）および5万分の1植生図（全国整備）のGISデータ、Landsat5-8の衛星画像データ（USGS）を用いて、東日本は6、7クラス（高山植生、常緑針葉樹林、落葉広葉樹林、草地、農地、都市域）、西日本は6クラス（常緑針葉樹林、落葉広葉樹林、常緑広葉樹林、草地、農地、都市域）にラベリング処理を行った。東日本と西日本でそれぞれ作成した土地被覆分類図を統合した全国スケールの植生現況図（2014年度版）

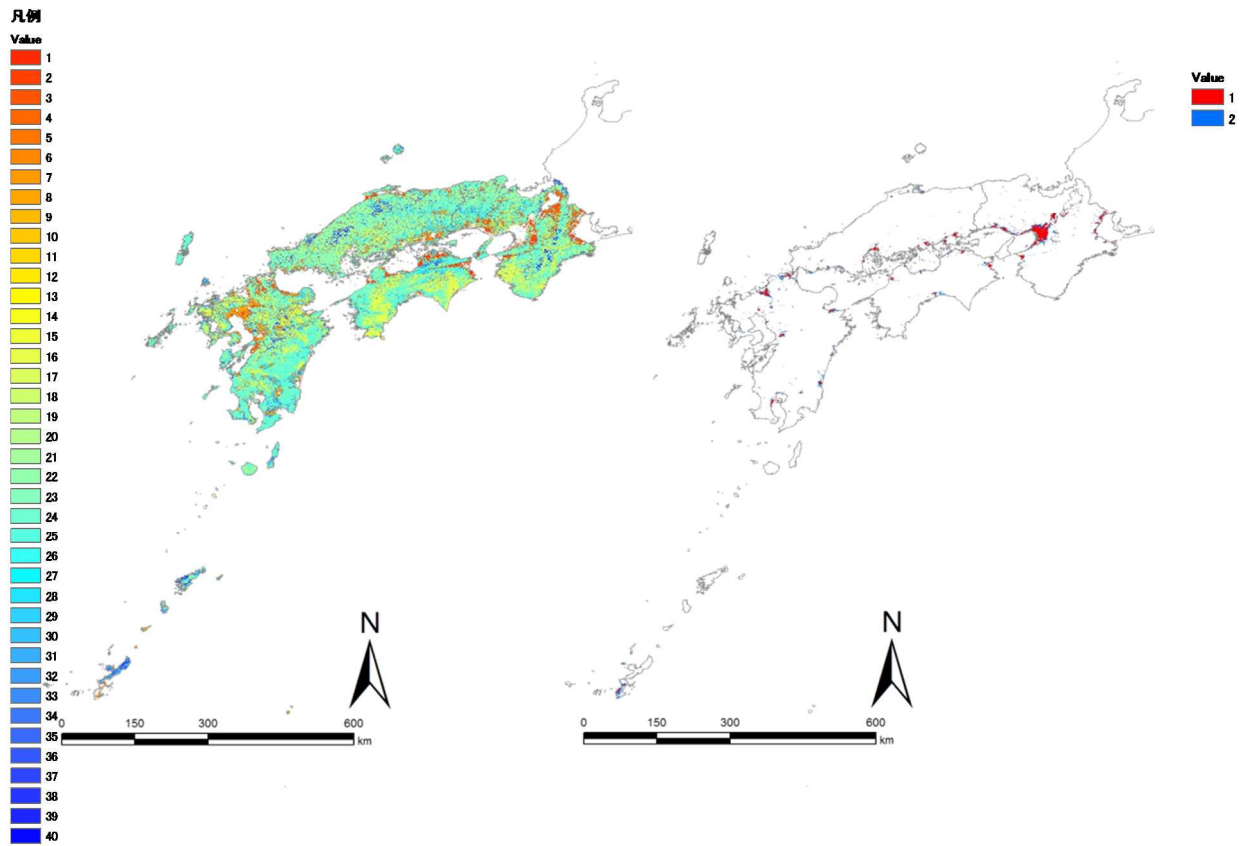
の結果を図(2)-29に示す。土地被覆の分類項目は8クラス（高山植生、常緑針葉樹林、落葉広葉樹林、常緑広葉樹林、草地、農地、都市域、水域）である。



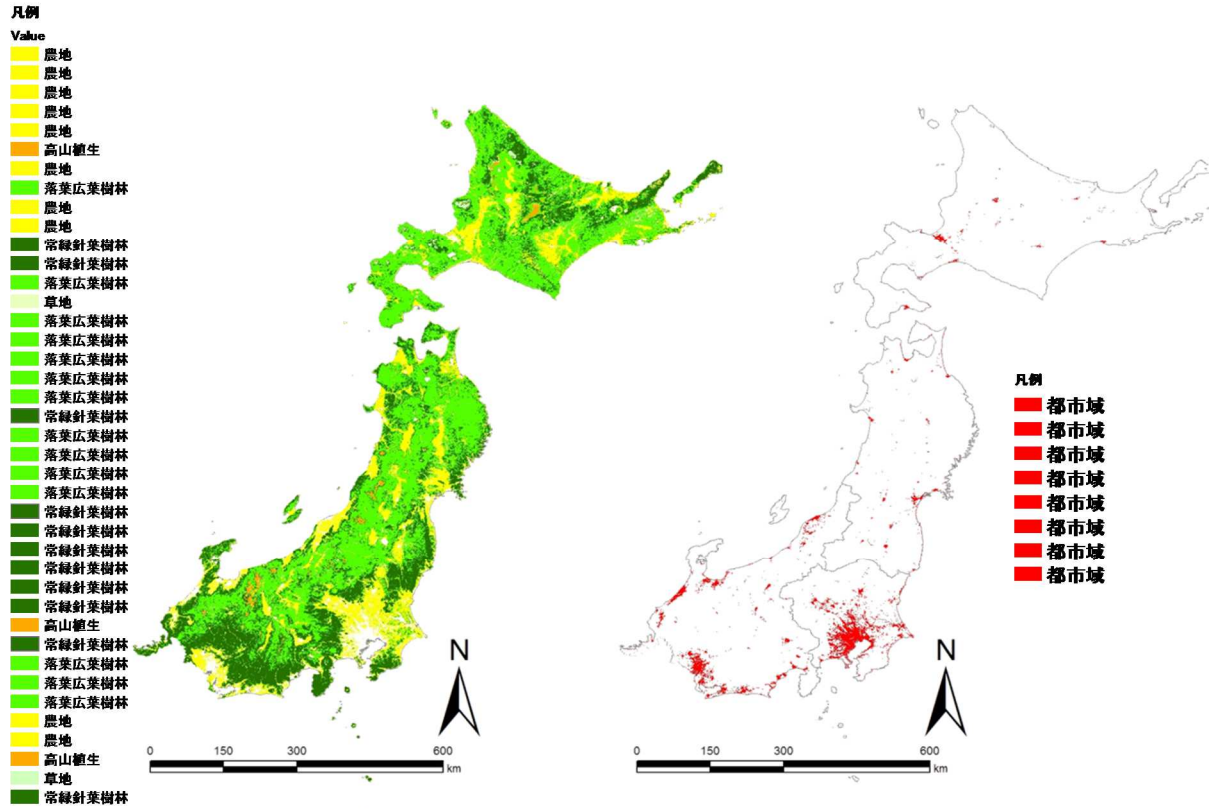
図(2)-24 Terra/MODISの月別コンポジットデータ（2014年4、5、6、7、8、9、10、11月）



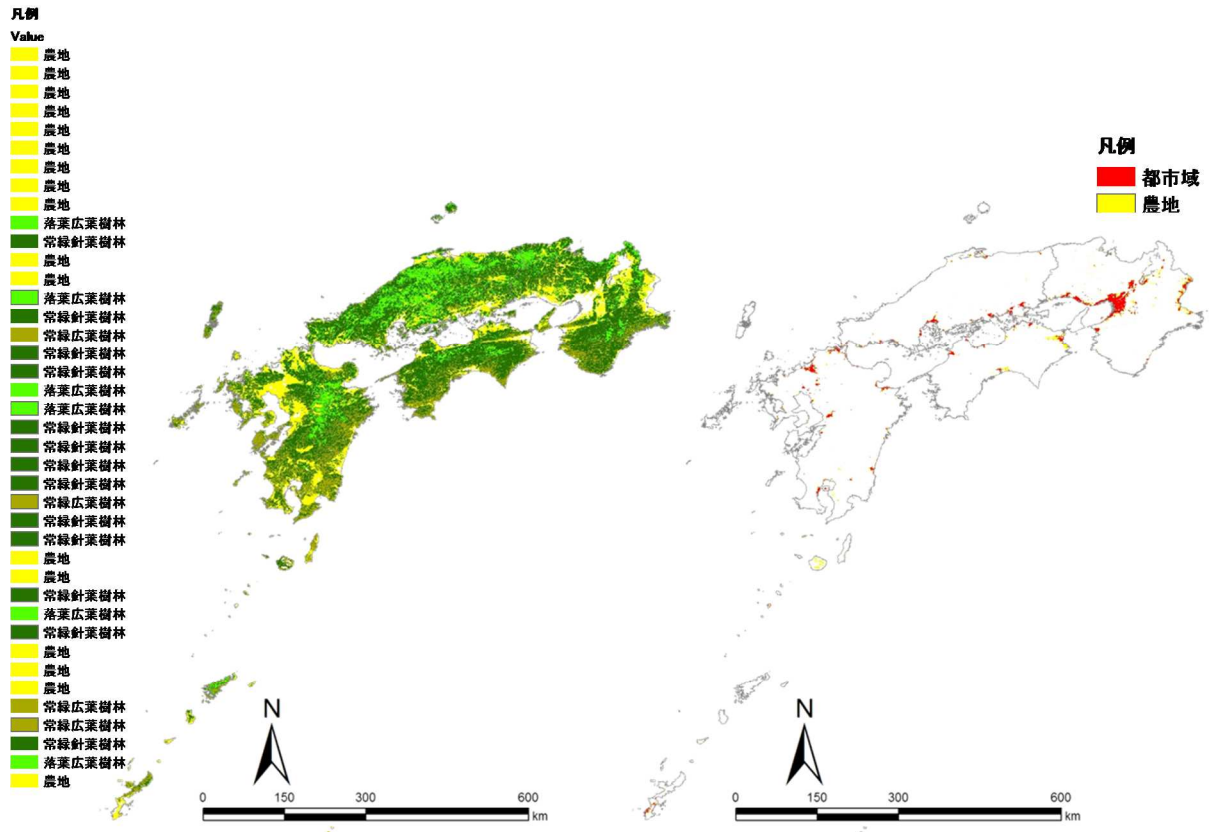
図(2)-25 2014年(4、5、6、7、9、10、11月)のTerra/MODISデータ(解像度500 m)を用いたISODATA法による東日本の分類結果(左図:植生域40、右図:非植生域10)



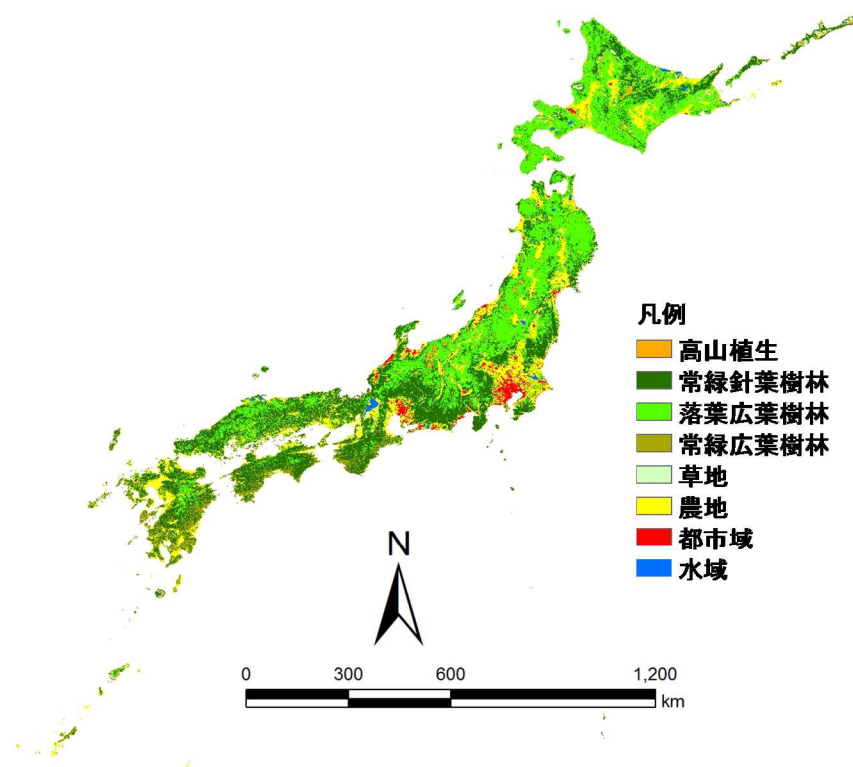
図(2)-26 2014年（4、5、6、7、9、10、11月）のTerra/MODISデータ（解像度500 m）を用いたISODATA法による西日本の分類結果（左図：植生域40、右図：非植生域2）



図(2)-27 2014年（4、5、6、7、9、10、11月）のTerra/MODISデータ（解像度500 m）を用いた東日本の植生現況図（左図：植生域、右図：非植生域）



図(2)-28 2014年（4、5、6、7、9、10、11月）のTerra/MODISデータ（解像度500 m）を用いた西日本の植生現況図（左図：植生域、右図：非植生域）



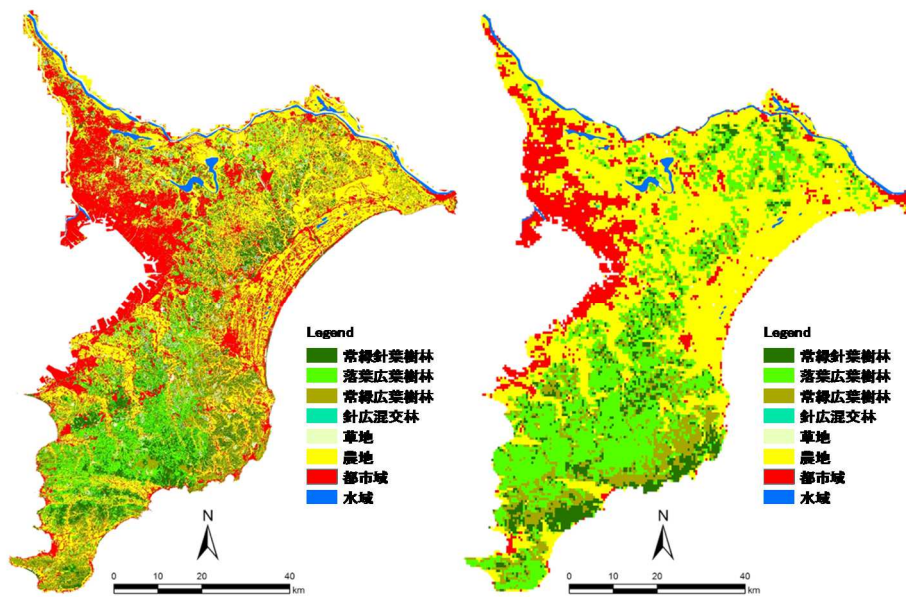
図(2)-29 2014年（4、5、6、7、9、10、11月）のTerra/MODISデータ（解像度500 m）を用いた日本全国の植生現況図

3) 土地被覆分類図の精度検証

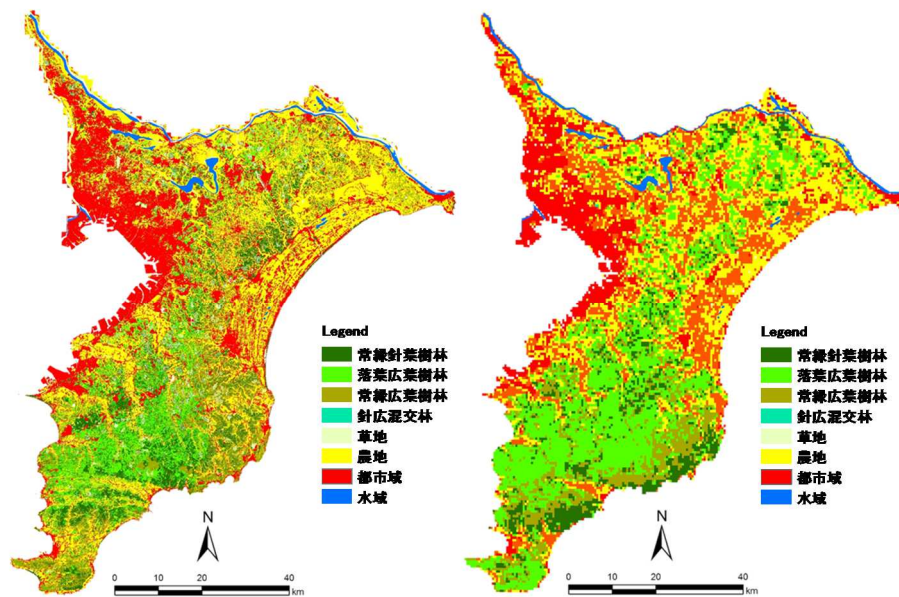
環境省が整備した千葉県の第6、7回自然環境保全基礎調査植生図（図(2)-30（左図））と平成26年度にMODISデータを用いて整備した千葉県の土地被覆図（2013年度版）（図(2)-30（右図））を用いて、土地被覆図の精度検証を行った結果を表(2)-10に示す。常緑針葉樹は33.6%、落葉広葉樹は30.5%、常緑広葉樹林は24.4%、農地は76.6%、都市域は91.5%の正解率が得られたが、全体精度は約72.1%、 κ 係数は0.56であった（表(2)-10）。森林および農地の精度が低くなった要因としてミクセル問題があげられる。2.5万分の1植生図は都市域の細区分に「緑の多い住宅地」が存在する。そこで、千葉県における都市域「緑の多い住宅地」の凡例を参照して、ISODATA法により植生域を分類した結果と照合した結果、8個の農地に分類された凡例で1番目の農地が都市域「緑の多い住宅地」と概ね合致することが認められた（図(2)-31）。

表(2)-10 千葉県における土地被覆分類図の精度検証（針広混交林の凡例を含む）

Land Cover	高山植生	常緑針葉樹林	落葉広葉樹林	常緑広葉樹林	針広混交林	草地	農地	都市域	その他	Row Sum	Producer's Accuracy (%)
高山植生	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
常緑針葉樹林	0	72	176	101	0	0	6	0	0	355	20.3
落葉広葉樹林	0	31	245	36	0	0	1	0	0	313	78.3
常緑広葉樹林	0	49	136	62	0	0	7	0	0	254	24.4
針広混交林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
草地	0	3	19	7	1	0	21	0	0	51	0.0
農地	0	52	200	38	1	1	2722	167	0	3181	85.6
都市域	0	7	27	10	0	0	798	1793	0	2635	68.0
その他	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
Col Sum	0	214	803	254	2	1	3555	1960	0	6789	
User's Accuracy (%)	-	33.6	30.5	24.4	0.0	0.0	76.6	91.5	-	Over all Accuracy (%)	72.1
										Over all Kappa coefficient	0.56



図(2)-30 千葉県の植生現況図（左図：第6、7回自然環境保全基礎調査植生図、右図：2013年（4、5、6、8、9、10、11月）のTerra/MODISデータを用いた土地被覆図（2013年版）（農地は多緑市街地を含む））



図(2)-31 千葉県の植生現況図（左図：第6、7回自然環境保全基礎調査植生図、右図：2013年（4、5、6、8、9、10、11月）のTerra/MODISデータを用いた土地被覆図（2013年版））（多緑市街地の農地を市街地に更新）

MODISデータを用いた東北地方の土地被覆図（2013年度版）と環境省が平成24年度に整備した東北地方の第6、7回自然環境保全基礎調査植生図を用いて、土地被覆図の精度検証を行った結果を表(2)-11に示す。常緑針葉樹20.7%、落葉広葉樹は85.9%、農地は93.8%の正解率が得られたが、全体精度は約77.1%、 κ 係数は0.34であった。全体精度が低くなった要因として、第6、7回自然環境保全基礎調査植生図の針広混交林は北海道のみ存在し、本州において針広混交林の凡例を適用していないことがあげられる。そこで、ISODATA法により分類した結果より、針広混交林の凡例を設定しないでラベリングした東北地方の土地被覆図（2013年度版）と環境省が平成24年度に整備した東北地方の第6、7回自然環境保全基礎調査植生図を用いて、土地被覆図の精度検証を行った結果を表(2)-12に示す。常緑針葉樹33.8%、落葉広葉樹は86.1%、農地は89.4%の正解率が得られ、全体精度は約80.7%、 κ 係数は0.42と精度が向上した。

表(2)-11 東北地方における土地被覆分類図の精度検証（針広混交林の凡例を含む）

Land Cover	高山植生	常緑針葉樹林	落葉広葉樹林	常緑広葉樹林	針広混交林	草地	農地	都市域	その他	Row Sum	Producer's Accuracy (%)
高山植生	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0.0
常緑針葉樹林	0	19	366	0	71	39	7	0	0	502	3.8
落葉広葉樹林	0	58	2588	0	185	10	2	0	6	2849	90.8
常緑広葉樹林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
針広混交林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
草地	0	0	1	0	1	0	1	0	0	3	0.0
農地	1	15	57	0	54	5	211	0	0	343	61.5
都市域	0	0	1	0	1	0	4	0	0	6	0.0
その他	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Col Sum	1	92	3013	0	313	54	225	0	6	3704	
User's Accuracy (%)	0.0	20.7	85.9	-	0.0	0.0	93.8	-	0.0	Over all Accuracy (%)	76.1
										Over all Kappa coefficient	0.34

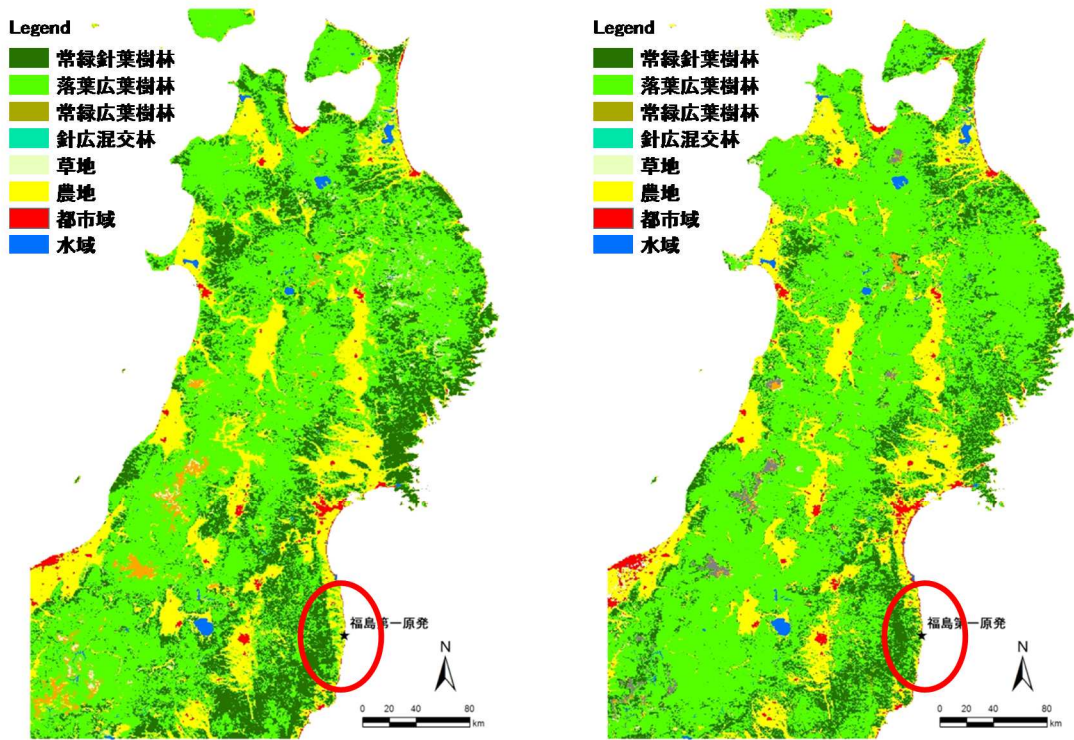
表(2)-12 東北地方における土地被覆分類図の精度検証（針広混交林の凡例を除く）

Land Cover	高山植生	常緑針葉樹林	落葉広葉樹林	常緑広葉樹林	針広混交林	草地	農地	都市域	その他	Row Sum	Producer's Accuracy (%)
高山植生	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0.0
常緑針葉樹林	0	113	363	0	0	22	4	0	0	502	22.5
落葉広葉樹林	2	126	2691	0	0	11	12	0	0	2842	94.7
常緑広葉樹林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
針広混交林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
草地	0	1	1	0	0	0	1	0	0	3	0.0
農地	0	93	69	0	0	3	178	0	0	343	51.9
都市域	0	1	1	0	0	0	4	0	0	6	0.0
その他	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Col Sum	2	334	3126	0	0	36	199	0	0	3697	
User's Accuracy (%)	0.0	33.8	86.1	-	-	0.0	89.4	-	-	Over all Accuracy (%)	80.7
										Over all Kappa coefficient	0.42

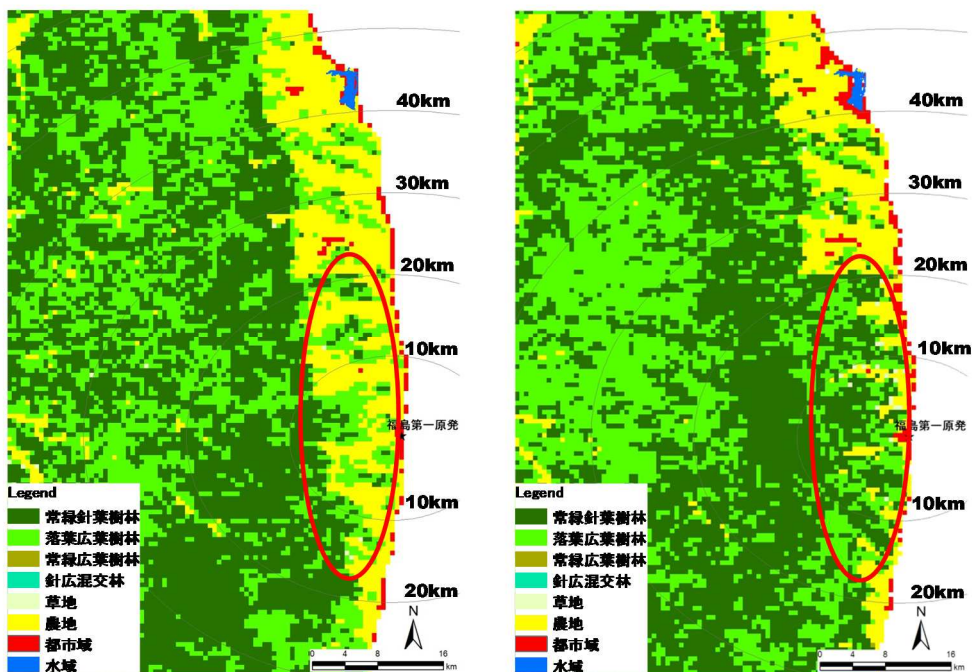
4) 東日本大震災の被災地における土地利用・土地被覆変化

ISODATA法によるMODIS分類結果より、震災前（2010年）の東北地方の土地被覆分類結果を図(2)-32の左図、震災後（2013年）の東北地方の土地被覆分類結果を図(2)-32の右図に示した。土地被覆の分類項目は8クラス（常緑針葉樹林、落葉広葉樹林、常緑広葉樹林、針広混交林、草地、農地（畑地、水田）、都市域、水域（河川・湖沼））である。また、福島第一原発から50 km圏内における震災前（2010年）の土地被覆分類結果を図(2)-33（左図）、震災後（2013年）の土地被覆分類結果を図(2)-33（右図）に示した。福島県の東岸部は環境省の2.5万分の1植生図のデータが整備されていないため、環境省の5万分の1植生図のGISデータ、Landsat ETM+, OLIを用いて土地被覆分類図の精度検証を行った。

2011年に農地で2013年に森林に変化した地域は、福島第一原発から40 km圏内における帰宅困難区域、居住制限区域、避難指示解除準備区域（2014年4月1日時点）で顕著に見られた。2013年に終了予定だった除染作業計画が2014年までに延長されたことによって、農地の管理を放棄したことにより、荒地から始まる遷移が進みアカマツ林や広葉樹林などの二次林が増加したと考えられる。また、里山の森林は管理をやめた瞬間から遷移が進行し、山地ではアカマツやクヌギ、コナラなどの二次林に置き換わった影響により、広葉樹林と針葉樹林が混在した針広混交林が増加したと考えられる。



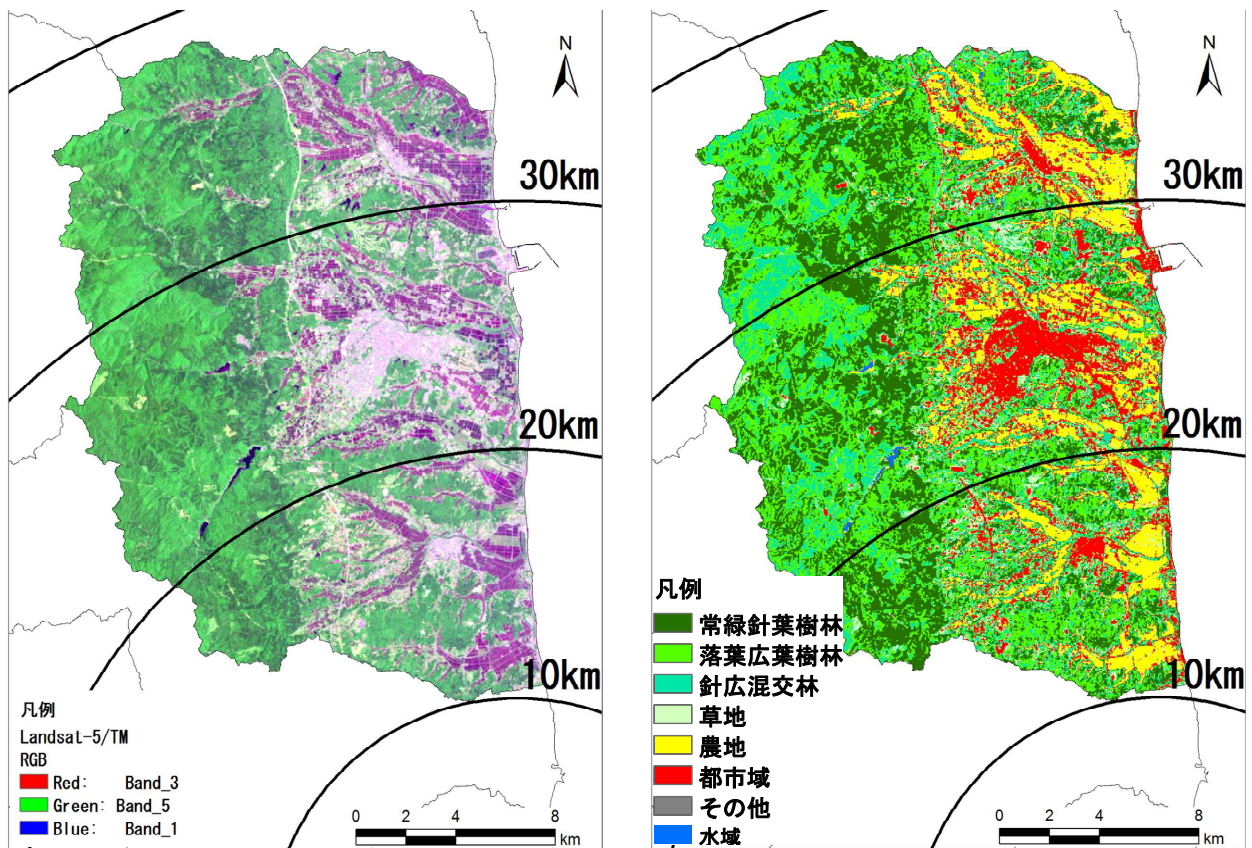
図(2)-32 Terra/MODISを用いた東日本大震災前後の土地被覆変化（左図：2010年MODISデータによる植生現況図、右図：2013年MODISデータによる植生現況図）



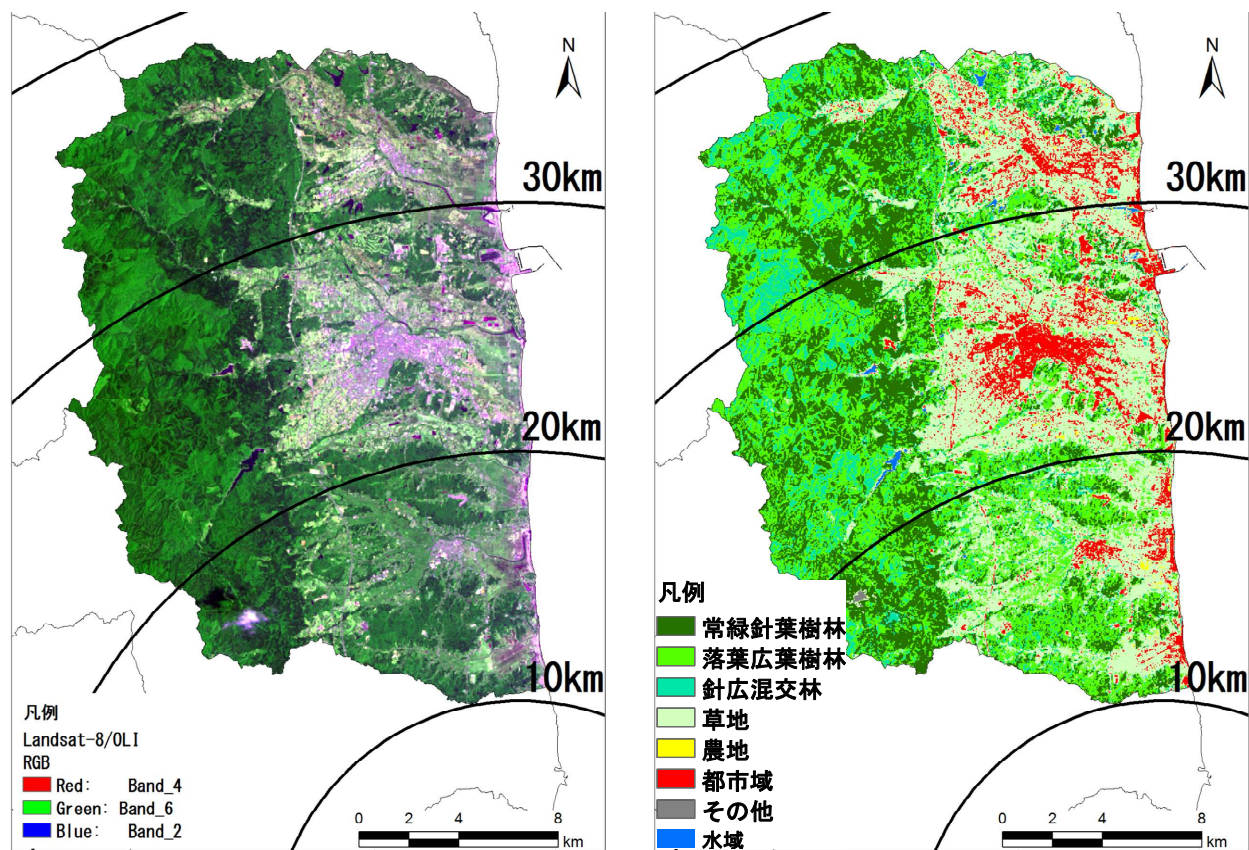
図(2)-33 Terra/MODISを用いた東日本大震災前後の土地被覆変化（左図：2010年MODISデータによる植生現況図、右図：2013年MODISデータによる植生現況図）

Terra/MODIS衛星データと時間・空間分解能の異なるLandsat衛星データを用いて、東日本大震災の被災地における土地利用・土地被覆変化の実態を把握した。震災前のLandsat/TMデータ（2009年6月2日）を用いて、ナチュラルカラー画像を図(2)-34の左図に示した。また、ISODATA法によるLandsat分類結果より、南相馬市における2009年6月2日の土地被覆分類結果を図(2)-34の右図に示した。同様に、震災前後のLandsat/TMデータ（2014年5月31日）を用いて、ナチュラルカラー画像を図(2)-35の左図、ISODATA法によるLandsat分類結果より、南相馬市における2014年5月31日の土地被覆分類結果を図(2)-35の右図に示した。福島県の東岸部は環境省の2.5万分の1植生図のデータが整備されていないため、現地調査のグランドトゥールズおよび環境省の5万分の1植生図のGISデータ、RapidEyeデータを用いて土地被覆分類図の精度検証を行った。

震災前の2009年6月2日のナチュラルカラー画像（Landsat/TMデータ）で暗く表示されている水田の地域は、震災後の2014年5月31日のナチュラルカラー画像（Landsat/OLIデータ）で草地に変化していることを現地調査により把握した。

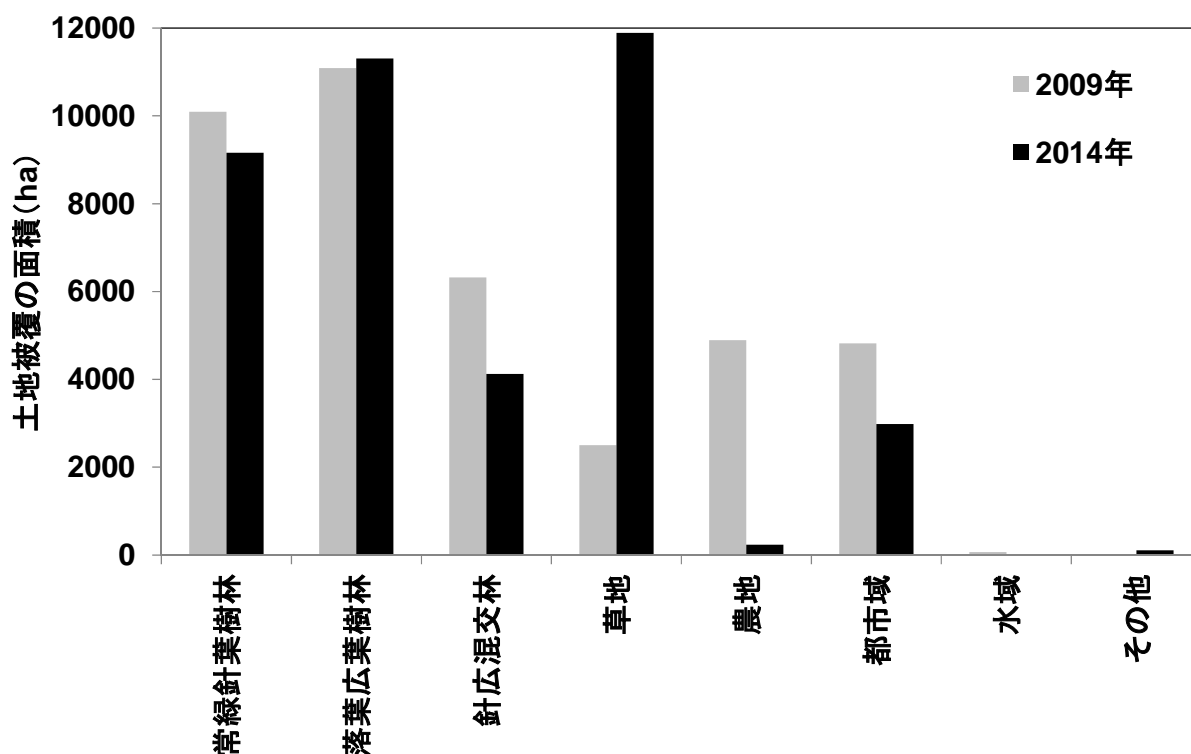


図(2)-34 Landsat/TMを用いた東日本大震災前の土地利用・被覆図（左図：Landsat-5/TM（2009年6月2日）のNatural Color画像（RGB=band3,5,1）、右図：Landsat-5/TM（2009年6月2日）を用いた震災前の土地被覆図）



図(2)-35 Landsat/TMを用いた東日本大震災後の土地利用・被覆図（左図：Landsat-8/OLI（2014年5月31日）のNatural Color画像（RGB=band4,6,2）、右図：Landsat-8/OLI（2014年5月31日）を用いた震災後の土地被覆図）

南相馬市における土地被覆分類結果より、震災前後の土地被覆を把握するため、常緑針葉樹林、落葉広葉樹林、針広混交林、草地、農地（畑地、水田）、都市域、その他、水域（河川・湖沼）の面積を算出した結果を図(2)-36に示した。森林（常緑針葉樹林、落葉広葉樹林、針広混交林）の土地被覆変化は顕著に見られないが、農地面積は4245.5 haから369.8 haに減少、草地面積は3363.5 haから9792.6 haに増加したことを明らかにした。



図(2)-36 南相馬市における土地被覆変化

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

衛星リモートセンシングによる森林の炭素収支の観測には、森林タイプによって異なる炭素固定能力の影響についての検討が考えられ、時間分解能の高いMODISが日々観測しているデータから森林タイプ間の植生フェノロジーの差異を検出することは、地球温暖化の解明に資する研究であり、気象観測データや標高データ、可視域と赤外域の異なる波長帯を用いた植生評価、開葉予測モデルを組み合わせたビッグデータ解析によって、相観レベルの下の階層クラスを識別できることを示した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

環境省自然環境保全基礎調査分科会（H28）において、本研究の成果である衛星リモートセンシングを用いた広域スケール植生モニタリングの知見を委員に説明した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究の成果の一つであるMODISを用いた全国植生現況図は、生物多様性に関する全国スケールの評価（JBOなど）に貢献できる可能性がある。また、本研究によって現況図作成手法が定式化され、委託業務などに適用できることが見込まれる。

また、成果の一つである異なった分解能の衛星リモートセンシングによる震災被災域の土地被覆の分類は、当該地域の生態系モニタリングに貢献できる可能性がある。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、原田一平、富田瑞樹：写真測量とリモートセンシング, 54, 3, 133-140 (2015年)
「MTFを用いたMODIS期間合成画像の空間精度の評価」
- 2) K. Hara, Y. Zhao, I. Harada, M. Tomita, J. Park, E. Jung, N. Kamagata, Y. Hirabuki: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-7/W3, 805-809 (2015).
“Multi-scale monitoring of landscape change after the 2011 Tsunami.”
- 3) I. Harada, K. Hara, J. Park, I. Asanuma, M. Tomita, D. Hasegawa and M. Fujihara: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-7/W3, 403-408 (2015).
“Monitoring of rapid land cover changes in eastern Japan using Terra/MODIS data.”
- 4) J. Park, I. Harada, and Y. Kwak: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B8, 1003-1007 (2016).
“Object-based classification and change detection of Hokkaido, Japan.”
- 5) R. C. Sharma, K. Hara, H. Hirayama, I. Harada, D. Hasegawa, M. Tomita, J. Park, I. Asanuma, K. M. Short, M. Hara, Y. Hirabuki, M. Fujihara, R. Tateishi: Advances in Remote Sensing, 6, 1, 54-65 (2017).
“Production of Multi-features Driven Nationwide Vegetation Physiognomic Map and Comparison to MODIS Land Cover Type product.”
- 6) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹：写真測量とリモートセンシング, 56, 1, 4-13 (2017年)
「Terra/MODISを用いた北海道道東地方における落葉期のカラマツ人工林と落葉広葉樹林の植生フェノロジーの差異の検出」

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平：日本写真測量学会平成27年度年次学術講演会発表論文集, 37-40 (2015年5月)
「衛星画像量子化による土地被覆分類への影響」
- 2) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平：日本写真測量学会平成27

年度秋季学術講演会発表論文集, 39-42 (2015年10月)

「カラマツとシラカンバの分光特性の検討」

- 3) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平：日本写真測量学会平成28年度年次学術講演会発表論文集, 113-116 (2016年5月)
「落葉樹林間の期間合成データにおける植生フェノロジーの観測」
- 4) 長谷川大輔、原田一平、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹：日本写真測量学会平成28年度秋季学術講演会発表論文集, 169-172 (2016年11月)
「異なるMODIS期間合成データを用いた植生現況図の作成」

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) M. Fujihara, K. Ito, I. Harada, M. Tomita, and K. Hara: The 57th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Perth, Australia, September 2014
“Assessment of the dynamics of vegetation boundaries as depicted by vegetation mapping based on aerial photographs and satellite remote sensing.”
- 2) Y. Hirabuki, M. Tomita, H. Kanno, Y. Zhao, K. Hara and I. Harada: The 4th International Conference of Urban Biodiversity and Design, Incheon, Korea, October 2014
“Vegetation dynamics following the 2011 huge-earthquake/tsunami disturbance in an urban coastal ecotone.”
- 3) 原田一平、原慶太郎、朴鍾杰、浅沼市男、富田瑞樹、長谷川大輔、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：日本リモートセンシング学会第57回学術講演会 (2014年11月)
「Terra/MODISを用いた日本における植生図化手法の開発」
- 4) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、原田一平：日本写真測量学会平成26年度秋季学術講演会 (2014年11月)
「MODIS期間合成画像の空間精度の評価」
- 5) 藤原道郎、伊藤休一、原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、原正利、平吹喜彦：日本生態学会第62回全国大会 (2015年3月)
「衛星リモートセンシングによる植生図化のための2.5万分の1植生図凡例の検討」
- 6) Y. Kim, J. Park, I. Asanuma: The International Symposium on Remote Sensing 2015, Tainan, Taiwan, April 2015
“Mapping of coverage of paddy fields over Hokkaido using MODIS data.”
- 7) K. Hara, Y. Zhao, I. Harada, M. Tomita, J. Park, E. Jung, N. Kamagata, Y. Hirabuki: The 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Berlin, Germany, May 2015
“Multi-scale monitoring of landscape change after the 2011 Tsunami.”
- 8) I. Harada, K. Hara, J. Park, I. Asanuma, M. Tomita, D. Hasegawa and M. Fujihara: The 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Berlin, Germany, May 2015
“Monitoring of rapid land cover changes in eastern Japan using Terra/MODIS data.”
- 9) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平：日本写真測量学会平成27年度年次学術講演会 (2015年5月)
「衛星画像量子化による土地被覆分類への影響」

- 10) 金榮煥、朴鍾杰、浅沼市男：日本リモートセンシング学会第58回学術講演会（2015年6月）
「MODISを用いた北海道の水田抽出」
- 11) 原田一平、原慶太郎、浅沼市男、朴鍾杰、富田瑞樹、長谷川大輔：日本リモートセンシング学会第58回学術講演会（2015年6月）
「南相馬市における土地被覆動態のモニタリング」
- 12) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：日本景観生態学会第25回全国大会北九州大会（2015年6月）
「生物多様性評価のための衛星リモートセンシングによる広域スケール植生現況図作成」
- 13) Y. Hirabuki, M. Tomita, H. Kanno, J. Nishihiro, K. Oka, K. Hara, Y. Zhao and I. Harada: The 9th International Association for Landscape Ecology World Congress, Portland, Oregon, USA, July 2015
“Rapid and Heterogeneous Vegetation Recovery Following the 2011 Earthquake/Tsunami: New Findings Supporting Integrated Coastal-Ecotone Management.”
- 14) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：植生学会第20回大会（2015年10月）
「衛星リモートセンシングデータを用いた広域スケール植生図化手法の開発」
- 15) 藤原道郎、伊藤休一、原田一平、原慶太郎、富田瑞樹：植生学会第20回大会（2015年10月）
「広域植生図における詳細植生図の情報」
- 16) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平：日本写真測量学会平成27年度秋季学術講演会（2015年10月）
「カラマツとシラカンバの分光特性の検討」
- 17) 原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：日本リモートセンシング学会第59回学術講演会（2015年11月）
「Terra/MODISを用いた日本における植生図化手法の開発（その2）」
- 18) 朴鍾杰、金榮煥、原田一平：日本リモートセンシング学会第59回学術講演会（2015年11月）
「MODISデータを用いたObject-Based解析による北海道の植生分類」
- 19) J. Park, Y. Kim, Y. Kwak: 2015 American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, San Francisco, California, USA, December 2015
“Object-Based Analysis and Change Detection of Paddy Field at Hokkaido, Japan.”
- 20) 原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：第16回自然環境復元学会全国大会（2016年2月）
「Terra/MODISを用いた日本における広葉樹林の分布について」
- 21) 原田一平、堀内雄太、宮原喜彦、浅沼市男、原慶太郎：日本地理学会2016年春季学術大会（2016年3月）
「南相馬市における非耕作農地の土壌放射性物質の濃度変化」
- 22) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：第63回日本生態学会大会（2016年3月）
「生物多様性評価のためのMODISデータによる日本全土の植生現況図作成」
- 23) 原田一平、原慶太郎、浅沼市男、朴鍾杰、富田瑞樹、長谷川大輔：日本リモートセンシング

- 学会第60回学術講演会（2016年5月）
「南相馬市における土地被覆動態のモニタリング（その2）」
- 24) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平：日本写真測量学会平成28年度年次学術講演会（2016年5月）
「落葉樹林間の期間合成データにおける植生フェノロジーの観測」
- 25) 藤原道郎、原田一平、原慶太郎、富田瑞樹：日本景観生態学会第26回全国大会北海道大会（2016年7月）
「組成を基にした植生図の凡例を活かした広域植生図の検討」
- 26) J. Park, I. Harada, and Y. Kwak: XXIII the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Congress, Prague, Czech Republic, July 2016
“Object-based classification and change detection of Hokkaido, Japan.”
- 27) M. Fujihara, K. Ito, I. Harada, K. Hara, M. Tomita: The 5th International EcoSummit Congress, Montpellier, France, August 2016
“Comparison of vegetation type and its distribution derived from vegetation mapping based on phytosociology and satellite remote sensing.”
- 28) 金榮煥、朴鍾杰、浅沼市男：日本写真測量学会平成28年度秋季学術講演会（2016年11月）
「MODISデータを用いた気候帯による植生分類手法の検討」
- 29) 朴鍾杰、浅沼市男、郭榮珠：日本写真測量学会平成28年度秋季学術講演会（2016年11月）
「オブジェクトベースによる地震被災建物の判別」
- 30) 長谷川大輔、浅沼市男、原慶太郎、朴鍾杰、富田瑞樹、原田一平：日本写真測量学会平成28年度秋季学術講演会（2016年11月）
「異なるMODIS期間合成データを用いた植生現況図の作成」
- 31) J. Park, E. Nunohiro and S. Park: The Twenty-Second International Symposium on Artificial Life and Robotics 2017 (AROB 22nd 2017), Beppu, JAPAN, January 2017
“Increase of methane emission globally and environmental education of Japan”
- 32) J. Park, M. Hanada, H. Kanemitsu and E. Nunohiro: 2017 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, Guam, USA, February 2017
“Study on noise extraction and correction of time series satellite profile data using parallel distributed system”

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 21世紀の環境を考える ―宇宙から生物多様性をとらえる―（2015年6月20日、東京情報大学総合情報センター・メディアホール、観客128名）
- 2) Webページによる公開（2015年6月20日、<http://negis.tuis.ac.jp/kenkyu11405/>）

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

受賞

- 1) 長谷川大輔：東京情報大学；「MTFを用いたMODIS期間合成画像の空間精度の評価」、日本写真測量学会奨励賞、平成28年5月26日

8. 引用文献

- 1) 河原輝彦, 1985. 森林生態系における炭素の循環-リターフォール量とその分解速度を中心として-, 林試研報, 334, pp. 21-52.
- 2) IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- 3) Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, L.V. Alexander, S.K. Allen, N.L. Bindoff, F.-M. Bréon, J.A. Church, U. Cubasch, S. Emori, P. Forster, P. Friedlingstein, N. Gillett, J.M. Gregory, D.L. Hartmann, E. Jansen, B. Kirtman, R. Knutti, K. Krishna Kumar, P. Lemke, J. Marotzke, V. Masson-Delmotte, G.A. Meehl, I.I. Mokhov, S. Piao, V. Ramaswamy, D. Randall, M. Rhein, M. Rojas, C. Sabine, D. Shindell, L.D. Talley, D.G. Vaughan, and S.-P. Xie, 2013: Technical summary. In Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Doschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P.M. Midgley, Eds. Cambridge University Press, pp. 33-115.
- 4) 小林秀樹, 松永恒雄, 梅干野晁, 2002. 光合成有効放射吸収量 (APAR) 推定誤差の純一次生産量推定に与える影響: MODIS FPARプロダクト及びTOMS紫外線反射率プロダクトによる検討, 日本リモートセンシング学会誌, 22(5), pp. 612-624.
- 5) 山形与志樹, 小熊宏之, 関根秀真, 土田聡, 2002. 吸収源を用いた地球温暖化対策とリモートセンシングの役割, 日本リモートセンシング学会誌, 22(5), pp. 494-509.
- 6) 栗屋善雄, 小谷英司, 庄大方, 2004. 衛星データを利用した全球一次生産の推定: 陸域生態系の純一次生産量の分布, 地球環境, 9(2), pp. 231-238.
- 7) Kushida, K., Isaev, A.P., Maximov, T.C., Takao, G., Fukuda, M., 2007. Remote sensing of upper canopy leaf area index and forest floor vegetation cover as indicators of net primary productivity in a Siberian larch forest, Journal of Geophysical Research - Biogeosciences, 112. G02003, doi: 10.1029/2006JG000269.
- 8) 永井信, 奈佐原颯郎, 石原光則, 村岡裕由, 2008. 衛星観測で得られた植生指数に対する生理生態学的な考察, システム農学, 24(3), pp. 183-190.
- 9) 尾身洋, 長谷川宏一, 泉岳樹, 松山洋, 2009. Terra/MODISを用いた北方常緑針葉樹林における各種衛星指標の変化-植生の生育開始時期に着目して-, 水文・水資源学会誌, 22(2), pp. 141-158.
- 10) Harazono, Y., Chikamoto, K., Kikkawa, S., Iwata, T., Nishida, N., Ueyama, M., Kitaya, Y., Mano, M.,

- and Miyata, A., 2009. Applications of MODIS-visible bands index, greenery ratio to estimate CO₂ budget of a rice paddy in Japan, *Journal of Agricultural Meteorology*, 65(4), pp. 365-374.
- 11) 串田圭司, 2010. 陸域生態系の炭素収支のリモートセンシング, *光合成研究*, 20(1), pp. 43-47.
 - 12) Ide R., Nakaji T., Motohka T., Oguma H., 2011. Advantages of visible-band spectral remote sensing at both satellite and near-surface scales for monitoring the seasonal dynamics of GPP in a Japanese larch forest, *Journal of Agricultural Meteorology*, 67(2), pp. 75-84.
 - 13) 村岡裕由, 野田響, 斎藤琢, 永井信, 奈佐原顕郎, 2012. 森林生態系の光合成: 生理生態学と衛星観測の融合による長期・広域評価, *植物科学の最前線*, 3, pp. 30-45.
 - 14) 木佐貫博光, 2000. カラマツ属の形態分類および生態学的特性と分子系統との関係に関する研究, *東京大学演習林報告*, 104, pp. 63-145.
 - 15) 浅井達弘, 2006. 地球温暖化防止に果たす森林の役割-北海道林業試験場の取り組みの紹介-, *コンサルタンツ北海道*, 108, pp. 8-12.
 - 16) 吉田寛, 2011. 環境会計の理論-kikyo: 生き物に聞く生物多様性の尺度, 東洋経済新報社, 東京, 211pp.
 - 17) 高橋教夫, 1979. 航空写真による樹種の識別に関する研究, *北海道大学農学部 演習林研究報告*, 36(1), pp. 79-145.
 - 18) 瀬戸島政博, 今井靖晃, 船橋学, 勝木俊雄, 2005. 航空データ上の色調変化および落葉推移に基づく混交林の代表的な樹種の区分, *ランドスケープ研究*, 68(5), pp. 931-936.
 - 19) 福士亮太, 小熊宏之, 米康充, 鈴木恵一, 岡野哲郎, 藤沼康実, 2008. 高解像度デジタル航空写真とLiDARデータによるDTMを組み合わせたカラマツ林の現況推定, *日本森林学会*, 90(5), pp. 297-305.
 - 20) 河邑眞, 辻野和彦, 辻子裕二, 2005. 森林の樹種に関する高分解能衛星画像特性の分析, *写真測量とリモートセンシング*, 44(5), pp. 82-90.
 - 21) 後藤誠二郎, 栗屋善雄, 2013. RapidEye衛星のRed edgeバンドを用いた森林タイプ分類の精度向上に関する検討-岐阜県御嵩町を例として-, *システム農学*, 29(4), pp. 145-153.
 - 22) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 2008. 衛星データ処理マニュアル, 国土技術政策総合研究所資料, 436, 46pp.
 - 23) Blackburn, G.A. and Milton, E.J., 1995. Seasonal variations in the spectral reflectance of deciduous tree canopies, *International Journal of Remote Sensing*, 16(4), pp. 709-720.
 - 24) Motohka, T., Nasahara K.N., Oguma H., and Tsuchida S., 2010. Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology, *Remote Sensing*, 2(10), pp. 2369-2387.
 - 25) 栗屋善雄, 田中伸彦, 1999. 冷温帯森林の反射スペクトルの季節変化の特徴: ランドサットTMデータを利用した解析, *写真測量とリモートセンシング*, 38(4), pp. 35-46.
 - 26) 斎藤英樹, 鹿又秀聡, 山田茂樹, 2010. LANDSAT ETMとMODISデータを利用した常緑・落葉広葉樹林の分類, *九州森林研究*, 63, pp. 57-59.
 - 27) 倉橋昭夫, 佐々木忠兵衛, 濱谷稔夫, 1966. 開花期と積算温度, *北海道の林木育種*, 9 (2), pp. 20-27.
 - 28) 只木良也, 北村秀夫, 蟹江清丞, 佐野弘美, 重松明子, 大津慎一, 1994. 標高に伴うカラマツの

- 葉の開葉と落葉の挙動, 日本生態学会誌 44(3), pp. 305-314.
- 29) 木村徳志, 木佐貫博光, 倉橋昭夫, 佐々木忠兵衛, 1995. ウダイカンバのフェノロジー: 東京大学北海道演習林における35年間の経年変動, 日本林学会北海道支部論文集, 43, pp. 175-177.
- 30) 木佐貫博光, 倉橋昭夫, 1999. 産地の緯度がカラマツ属樹種の実生苗の分枝性, 成長, フェノロジー特性に及ぼす影響, 東京大学農学部演習林報告, 102, pp. 93-102.
- 31) 北尾光俊, 飛田博順, 丸山温, 石田亮, 2000. トドマツ, アカエゾマツの光合成温度依存性の季節変化, 日本林学会北海道支部論文集, 48, pp. 84-86.
- 32) 飛田博順, 北尾光俊, 宇都木玄, 丸山温, 2004. シラカンバ, ミズナラ, ハリギリの光合成の温度依存性, 日本林学会北海道支部論文集, 52, pp. 72-74.
- 33) 栗屋善雄, 2014. Terra/MODISデータを利用した落葉林の開葉日の判定-判定結果に基づく開葉モデルの作成-, 平成26年度秋季学術講演会発表論文集, pp. 173-174.
- 34) 上田明良, 尾崎研一, 原秀穂, 石濱宣夫, 2004. 2002年に北海道で発生した森林昆虫, 北方林業, 56(4), pp. 85-86.
- 35) 上田明良, 尾崎研一, 2012. ヤツバキクイムシの発育への温度と日長の影響, 森林総合研究所研究報告, 11(2), pp. 43-50.
- 36) 舘脇操, 伊藤浩司, 遠山三樹夫, 1965. カラマツ林の群落学的研究, 北海道大学農学部演習林研究報告, 24(1), pp. 1-176.
- 37) 菅原聰, 1972. 道東地方におけるカラマツ林の間伐, 信州大学農学部紀要, 9(1), pp. 1-21.
- 38) 和孝雄, 小鹿勝利, 尾張敏章, 1998. 北海道におけるカラマツ林業の動向: 統計資料の解析, 北海道大学農学部演習林研究報告, 55(1), pp. 97-112.
- 39) 北海道立林産試験場, 2005. カラマツ活用ハンドブック, 75pp.
- 40) 北海道, 2013. 北海道森林づくり基本計画: 北海道にふさわしい豊かな生態系をはぐくむ森林づくりに向けて, 61pp.
- 41) 北海道水産林務部, 2016, 平成25年度北海道林業統計, A森林面積及び蓄積, pp. 1-25, <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sum/kcs/rin-toukei/25rtk.htm> (accessed 28, Oct. 2016) .
- 42) 菊沢喜八郎, 1981. シラカンバの葉の数の季節的变化: 実験的研究, 北海道林業試験場報告, 19, pp. 93-104.
- 43) Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Remote Sensing of Environment*, 8, pp. 127-150.
- 44) Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X. and Ferreira, L. G., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), pp. 195-213.
- 45) Nagai, S., Saitoh, T., Kobayashi, H., Ishihara, M., Suzuki, R., Motohka, T., Nasahara, K. N. and Muraoka, H., 2012. In situ examination of the relationship between various vegetation indices and canopy phenology in an evergreen coniferous forest, Japan. *International Journal of Remote Sensing*, 33(19), pp. 6202-6214.
- 46) 丸山温, 森川靖, 1984. ミズナラ, ダケカンバ, ウラジロモミの葉の水分特性の季節変化, 日林誌, 66(12), pp. 499-505.
- 47) Gao, B., 1996. NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid

- water from space, *Remote Sensing of Environment*, 58, pp. 257-266.
- 48) Jackson, T.J., Chen, D., Cosh, M., Li, F., Anderson, M., Walthall, C., Doriaswamy, P., and Hunt, E.R., 2004. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans, *Remote Sensing of Environment*, 92: 475-482.
- 49) Chen, D., Huang, J., Jackson, T.J., 2005. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands, *Remote Sensing of Environment*, 98, pp. 225-236, doi: 10.1016/j.rse.2005.07.008.
- 50) Gu, Y., E. Hunt, B. Wardlow, J. B. Basara, J. F. Brown, and J. P. Verdin., 2008. Evaluation of MODIS NDVI and NDWI for vegetation drought monitoring using Oklahoma Mesonet soil moisture data, *Geophysical Research Letters*, 35, L22401, doi: 10.1029/2008GL035772.
- 51) 長谷川大輔, 浅沼市男, 原慶太郎, 朴鍾杰, 富田瑞樹, 原田一平, 2016. 落葉樹林間の期間合成データにおける植生フェノロジーの観測, 日本写真測量学会平成28年度年次学術講演会発表論文集, pp. 113-116.
- 52) 竹内渉, 安岡善文, 2004. MODISデータを用いた合成画像作成手法の開発, 写真測量とリモートセンシング, 43(5), pp. 36-48.
- 53) 朴鍾杰, 安田嘉純, 関根秀真, 建石隆太郎, 須崎 純一, 2008. MODISデータを用いた画素内の雲面積比率推定に関する研究, 写真測量とリモートセンシング, 47 (6), pp. 30-37.
- 54) Planet Labs, 2016. https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/1610.06_Spec_Sheet_Combined_Imagery_Product_Letter_ENGv1.pdf (accessed 14, Nov. 2016).
- 55) 長谷川大輔, 原田一平, 浅沼市男, 原慶太郎, 朴鍾杰, 富田瑞樹, 2016. 異なるMODIS期間合成データを用いた植生現況図の作成, 日本写真測量学会平成28年度秋季学術講演会発表論文集, pp. 169-172.
- 56) 栗屋善雄, 2014. Terra/MODISデータを利用した落葉林の開葉日の判定-判定結果に基づく開葉モデルの作成-, 平成26年度秋季学術講演会発表論文集, pp. 173-174.
- 57) 大吉慶, 竹内渉, 安岡善文, 2008. NOAA AVHRRを用いた北東アジア落葉樹林におけるフェノロジー観測手法の提案, 写真測量とリモートセンシング, 47(5), pp. 53-62.
- 58) Hara, K., Harada, I., Tomita, M., Short, K. M., Park, J., Simojima, H., Fujihara, M., Hirabuki, Y., Hara, M., Kondoh, A., 2010. Landscape transformation sere: in which directions will our landscape move and how can we monitor these changes, In Barancokova, M., Krajci, J., Kollar, J., Belcakova, I. (eds) *Landscape ecology -methods, applications and interdisciplinary approach*, pp. 165-172. Institute of Landscape Ecology, Slovak Academy of Sciences.
- 59) 黒田吉雄, 内田煌二, 佐藤美穂, 2001. ブナ・ミズナラの開芽・開葉に与える晩霜の影響, 森林立地, 43(2), pp. 75-82.

(3) 代表的植生域における現地検証

千葉県立中央博物館
生態・環境研究部

原 正利

平成26～28年度累計予算額：2,223千円（うち平成28年度：663千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

MODISデータを用いた日本全国レベルの植生現況図作成における、現地検証と課題を整理した。落葉広葉樹林帯においては、従来の研究では落葉広葉樹林として一括されていた植生区分をブナ林（ブナ群落）とナラ林（ミズナラ群落・コナラ群落）とに区分可能なことが示唆された。さらに、コナラ群落とミズナラ群落も区分できる可能性が示された。植生学的にもある程度、妥当性を持つが、融雪時期の違い等、課題も残されている。一方、常緑広葉樹林帯においては、個々の植生タイプの面積が、衛星画像で解像可能なサイズと比べてはるかに小さなモザイク状を呈していることが多く、常緑広葉樹林の下位区分は難しく、また他の二次植生との分離も課題として残された。また、北海道の落葉針葉樹林（カラマツ林）と落葉広葉樹林（シラカバ林）の識別に関して検討した。衛星データを用いて解析したブナ群落の分布を用いて、異なった二酸化炭素の排出シナリオに対する予測結果に関して検討し、気候変動にともなう分布予測のシナリオ分析の結果を検証した。

[キーワード]

相観植生図、現地検証、落葉広葉樹林帯、常緑広葉樹林帯、ブナ林、ナラ林、空間解像度

1. はじめに

本研究委託業務は、環境省の自然環境保全基礎調査の現存植生図を補完するものとして、衛星画像であるMODISデータを用いて、全国レベルの土地被覆分類図（全国植生現況図）を作成し、3～5年周期で定期的に更新することを目指している。NOAA/AVHRRなどの衛星データを用いて作成された全国スケールの土地被覆図（植生図）は、1) 空間分解能が低い、2) 植生分類が、落葉樹林や常緑樹林といったごく大まかな相観レベルの分類に留まるといった違いがあった。現存植生図は、現地調査と空中写真をもとにして、線と面で表現するベクターデータデータとして提供されるのに対し、衛星データによる土地被覆図は、画素（ピクセル）を単位としたラスターデータで提供され、1) については、最小図化単位で以上の分解能で表現されていること、2) については、現存植生図では種組成に基づく植物社会学的分類となっており分類がはるかに詳細である。もともと両者は全く異なる原理で作成されたものなので、どちらかが正確ということは無いが、土地被覆分類図を植生図の補完として用いるには、1) 空間分解能の向上とともに、2) 植生分類を単なる相観では無く高木層の優占種の違いを加味した詳細なものとする必要がある。このうち2) の点に関しては、衛星データにより分類されたグリッド（ピクセル、画素）がどのような植生タイプを含んでいるかの現地での地上検証、いわゆるグランドトゥルースが重要である。地上

検証の際には、植物社会学的な分類の凡例を念頭に置き、上記のグリッドサイズも考量に入れて現地で植生を確認する必要がある。

2. 研究開発目的

気候的植生帯として我が国には、1) 常緑広葉樹林帯（植物社会学的にはヤブツバキクラス）、2) 落葉広葉樹林帯（ブナクラス）、3) 亜高山針葉樹林帯（コケモモトウヒクラス）、4) 高山帯（コケモモトウヒクラスに含まれる）の4帯が認められる¹⁾。このうち特に、東日本においては2)の落葉広葉樹林帯が、西日本においては1)の常緑広葉樹林帯が広域を占め、解析上、重要である。さらに、現存植生としては、人為などの影響により、コナラ林やミズナラ林などの二次植生や植林、竹林、市街地、農耕地などが複雑に入り組みモザイクをなしている。したがって、本サブテーマの目的は、1) 東日本および西日本において、それぞれ、地上検証にふさわしいテストサイトを設定し、現地確認とともに既存資料も用いて現地の植生状況を調べ、サブテーマ1の解析結果と対比して、その精度を検証することであり、絶えずサブテーマ1の解析と密接に関連させて進める必要がある。

3. 研究開発方法

落葉広葉樹林帯については、ブナ、イヌブナ、ミズナラ、コナラなどを優占種とする様々な落葉広葉樹林のタイプが見られ^{2), 3), 4), 5), 6)}、植生モザイクのサイズも比較的大きいことから、北上山地をテストサイトとして選び、平成26年9月に、現地の植生専門家である小水内正明氏、大上幹彦氏に同行いただき、代表的な林分を踏査した。その際、GPSで緯度経度を記録し、様々なタイプの植生の写真（GEOTAG付き）を撮影し状況を記録した。北上山地の植生分布パターンを確認するとともに、リモートセンシングでの解析におけるグランドトゥルースとなるデータを取得した。

常緑広葉樹林帯については、サブテーマ1、2、5のメンバーによって、現地の植生専門家である岡山理科大学の太田謙博士の同行を得て、中国地方中部をテストサイトとして、海岸から山岳地までの代表的植生が、平成27年8月に踏査された。現地ではGPSで緯度経度を記録するとともに、様々なタイプの植生写真（GEOTAG付き）が撮影され、グランドトゥルースとなるデータが取得された。この踏査に同行はできなかったが、その際、取得された現地植生データを、MODISを用いた植生現況図（2013年度版）の解析結果と照合して、中国地方の植生分布パターンを確認し、その植生区分について検討した。

さらに、これ以外の課題として、北海道の落葉針葉樹林（カラマツ林）と落葉広葉樹林の識別について既存資料をもとに検討し、こられを基にして、全国植生概況図を作成する際の問題点を整理した。また、サブテーマ2が進めている気候変動にともなう分布予測のシナリオ分析に関しても、対象としてブナ林に関する植生学的な知見^{5), 6), 7), 8), 9)}に基づき検討した。

4. 結果及び考察

（1）落葉広葉樹林帯

北上山地の踏査では、ブナ林、ミズナラ林、アオモリトドマツ林、ヒノキアスナロ林、シラカンバ林、ダケカンバ林、カラマツ植林、アカマツ林など多様な植生を現地で確認し、北上山地の代表的な植生域の状況を把握できた。北上山地のグランドトゥルースの詳細は下記のとおりであ

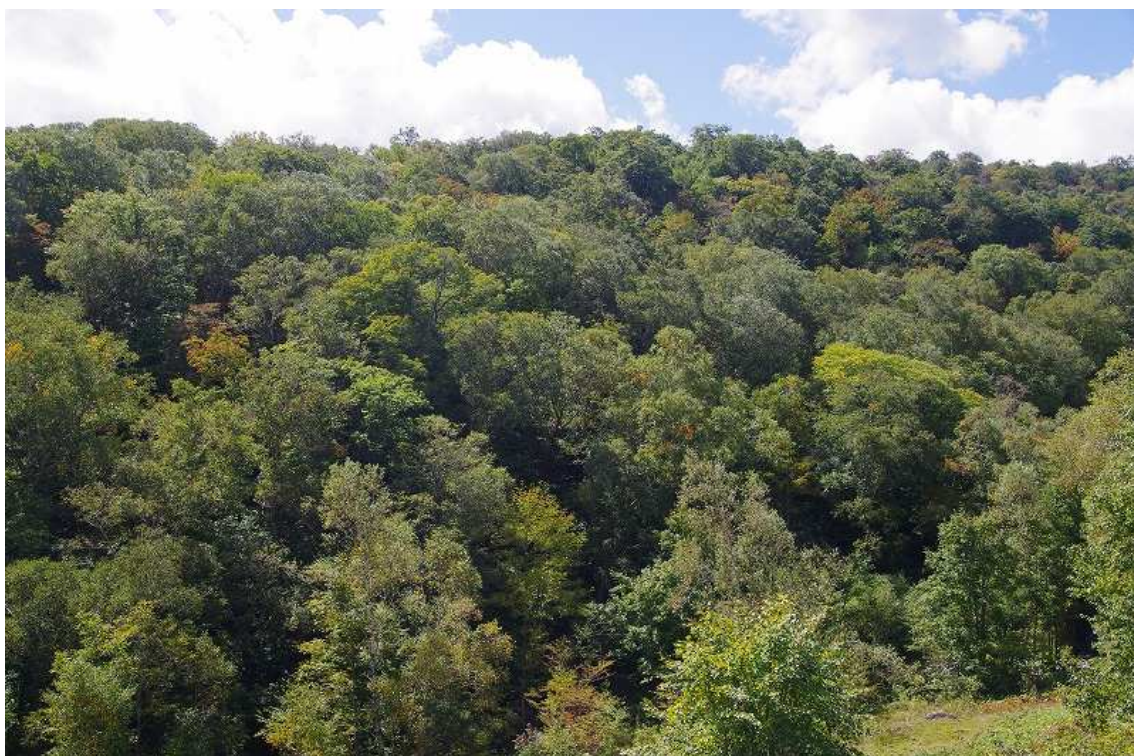
る。

1) 櫃取湿原（ノロメキ沢）下閉伊郡岩泉町字釜津田 標高970-980 m（図(3)-1、図(3)-2）

谷底平坦地に大径木のミズナラやブナ、ダケカンバ等が一定以上の間隔を保ちながら点々と生育していた。湿原の北側の尾根にはアオモリトドマツが自生し、西側の最奥部にはダケカンバの一斉林が広がっていた。



図(3)-1 櫃取湿原



図(3)-2 櫃取湿原の周辺

2) 高桧山（早池峰山東尾根）宮古市川井字江繋 標高950-990 m（図(3)-3）

早池峰山の東側に連なる高桧山の南東側に位置し、大径木のブナが優占し、シナノキ、ミズナラ、トチノキ等が混生する自然性の高い森林であった。



図(3)-3 高松山のブナ林

3) 早池峰山南東斜面 宮古市川井江繋 標高870-880 m (図(3)-4)

早池峰山の南東斜面で薬師川の上流部に位置し、所々に蛇紋岩の岩礫が点在している。林分は、ブナとヒノキアスナロがモザイク状に混生し、作業道沿いにウダイカンバが目立った。



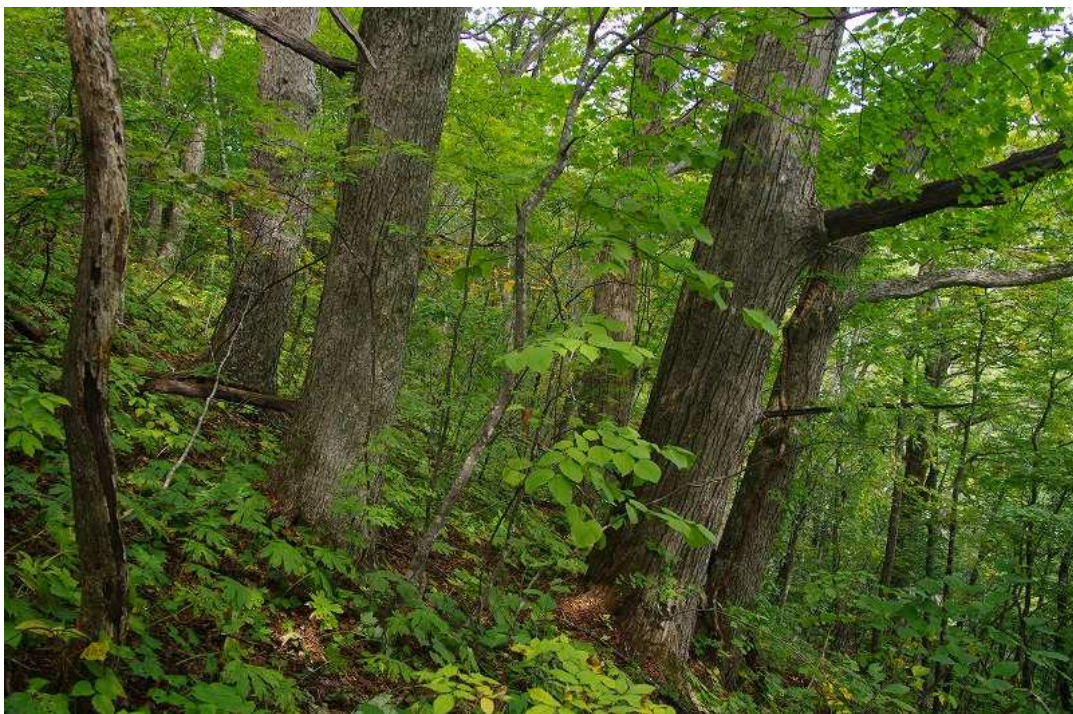
図(3)-4 早池峰山南東斜面のヒノキアスナロ林

4) 源兵衛平 宮古市新里字刈屋 標高740-910 m (図(3)-5、図(3)-6)

かつての林間放牧地で、ここでは牛の庇陰用に切り残されたミズナラが優占し、ブナやダケカンバ、シナノキ等が混生する広葉林とアカマツやカラマツ等の針葉樹植林が混在していた。この位置より東側に連なる尾根には太平洋側の分布北限となるイヌブナが自生している。



図(3)-5 源兵衛平のミズナラ大木



図(3)-6 源兵衛平のミズナラ林

5) 安家溪谷茂井地区 下閉伊郡岩泉町大字安家字茂井 標高120-200 m (図(3)-7、図(3)-8)
一部に伐採した痕跡が見られるものの大径木のコナラとブナ、オノオレカンバが混生する極めて自然性の高い森が発達していた。特にコナラの多くは胸高直径90cm以上であった。表土が薄く岩塊が露出した箇所にはアカマツ林がみられた。



図(3)-7 安家溪谷のコナラ・ブナ林



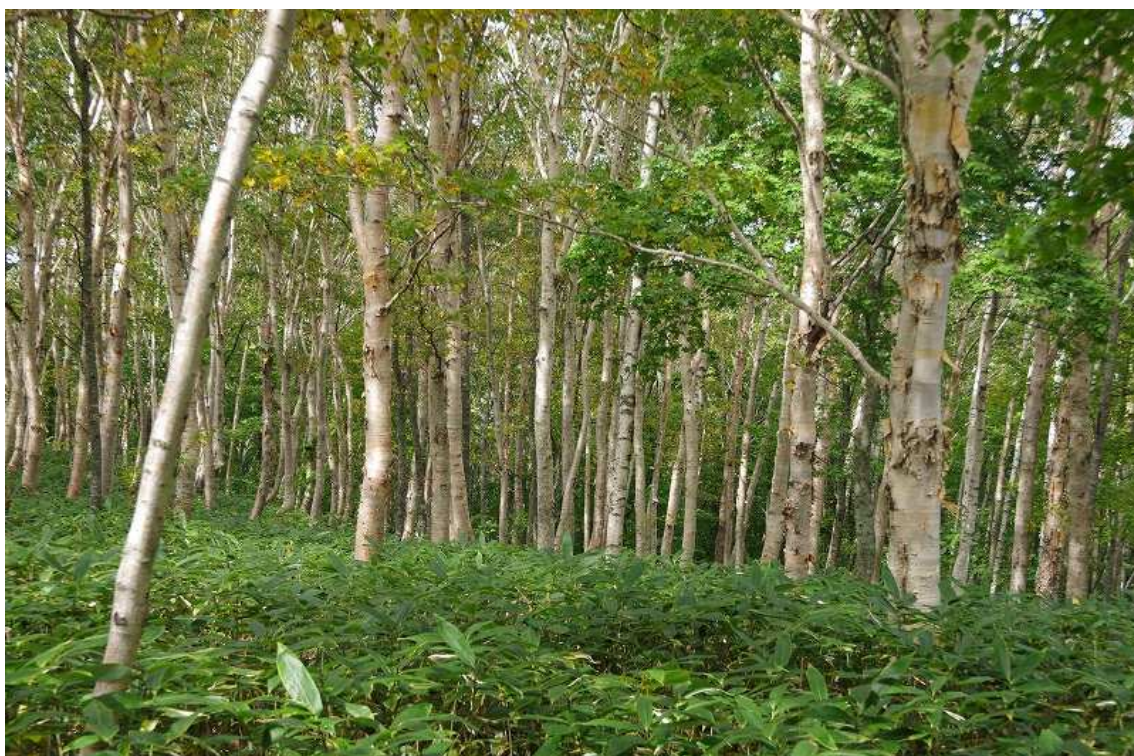
図(3)-8 安家溪谷のアカマツ天然林

6) 平庭高原 久慈市山形村富士見平 標高830-880 m (図(3)-9、図(3)-10)

かつては放牧地として利用されていたが、現在は放棄されてダケカンバ、シラカンバ、ブナが目立つ二次林となっていた。



図(3)-9 平庭高原の草地とカンバ類再生林



図(3)-10 平庭高原のダケカンバ林

この結果や既存の植生情報を、サブテーマ1の区分と照合した結果、落葉広葉樹林をブナ林（ブナ群落）とナラ林（ミズナラ群落・コナラ群落）とに区分可能なことが示唆された。それぞれの群落タイプの地理的分布範囲や環境要因との関係について助言した。さらに、コナラ群落とミズナラ群落も区分できる可能性が示され、植生学的にもある程度、妥当性を持つことがわかったが、融雪時期の違いが区分に影響している可能性もあり、今後の課題である。

さらに、常緑広葉樹林帯のテストサイトとした中国地方中部においても、大山などの山岳地を中心にブナを優占種とする落葉広葉樹林が卓越しているが、グランドトゥルース結果を基にMODISによる植生分類を行なった結果、これまで分類が不十分であった落葉広葉樹林を的確に抽出することができ、植生学的にもその妥当性が確認された。

（２）常緑広葉樹林帯

テストサイトとした中国地方中部においては、本来、常緑広葉樹林が卓越する低海拔地では、個々の植生タイプの面積が、衛星画像で解像可能なサイズと比べてはるかに小さなモザイク状を呈していることが多く、常緑広葉樹林を下位区分することは難しく、また他の二次植生との分離も困難であった。これは解析手法の問題というよりは衛星画像の空間解像度に基づく解析の限界である。

（３）北海道の落葉針葉樹林（カラマツ林）と落葉広葉樹林の識別についての検討結果

落葉針葉樹林のカラマツは、自然植生としては分布域が限られているが、特に北海道では広大な面積の植林がみられる。同じ落葉性のミズナラやシラカバなどの落葉広葉樹林との区分が課題となる。テストサイトとして北海道東部の網走近郊でサブテーマ1のメンバーによって詳細に検討された結果を検証した。ここでは、展葉や落葉の時間的差異をもとにして、分類可能性が示唆された。

（４）気候変動にともなう分布予測のシナリオ分析

本研究では、衛星データを用いて全国レベルの植生現況図を作成するとともに、それによって明らかになった植物群落に関して、シナリオごとの気候変動影響を予測し、分布域変化の予測を行なった（サブテーマ1の成果に詳細を報告）。気候変動の影響が顕著であると推測された落葉広葉樹林帯の優占種であるブナ群落の分布を予測した。現地資料データに基づくブナの気候変動に伴う分布予測はなされていたが、衛星リモートセンシングの解析によるブナ群落としての分布域の検討は本研究で明らかにされた。基本的に、現在の気候条件下での分布域を表現するモデルを作成し、二酸化炭素の高・低それぞれの排出シナリオに従って環境条件がどのように変化するかを予測し、それぞれに対するブナ群落の分布域を予測した。これまでの知見を概ね再現できていると判断された。

5. 本研究により得られた成果

（１）科学的意義

MODISデータを用いた植生現況図作成においては、地上検証についても当該スケールに合った方法が必要となり、現地調査の際には可能な限り広範囲にわたって均一な植生の区画を現地データとして確認した。500m分解能に相応しい検証方法を示すことができた。また、落葉広葉樹林帯における分類では、ブナ群落とナラ群落の区分の可能性が示唆されたが、この検討においては、ブナ群落、ミズナラ群落、コナラ群落それぞれの分布域を詳細に検討したが、今後の植生図作成

にこの結果が寄与できるとものとする。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

今後、衛星リモートセンシングによる解析がより活発になることが予想されるが、その際に、必要となるグラントツールズに相応しい具体的な場所を明示することができた。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) R. C. Sharma, K. Hara, H. Hirayama, I. Harada, D. Hasegawa, M. Tomita, J. Park, I. Asanuma, K. M. Short, M. Hara, Y. Hirabuki, M. Fujihara, R. Tateishi: Advances in Remote Sensing, 6, 1, 54-65 (2017).
“Production of Multi-features Driven Nationwide Vegetation Physiognomic Map and Comparison to MODIS Land Cover Type product.”

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 原田一平、原慶太郎、朴鍾杰、浅沼市男、富田瑞樹、長谷川大輔、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：日本リモートセンシング学会第57回学術講演会（2014年11月）
「Terra/MODISを用いた日本における植生図化手法の開発」
- 2) 藤原道郎、伊藤休一、原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、原正利、平吹喜彦：日本生態学会第62回全国大会（2015年3月）
「衛星リモートセンシングによる植生図化のための2.5万分の1植生図凡例の検討」
- 3) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：日本景観生態学会第25回全国大会北九州大会（2015年6月）
「生物多様性評価のための衛星リモートセンシングによる広域スケール植生現況図作成」
- 4) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原

道郎：植生学会第20回大会（2015年10月）

「衛星リモートセンシングデータを用いた広域スケール植生図化手法の開発」

- 5) 原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：日本リモートセンシング学会第59回学術講演会（2015年11月）

「Terra/MODISを用いた日本における植生図化手法の開発（その2）」

- 6) 原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：第16回自然環境復元学会全国大会（2016年2月）

「Terra/MODISを用いた日本における広葉樹林の分布について」

- 7) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：第63回日本生態学会大会（2016年3月）

「生物多様性評価のためのMODISデータによる日本全土の植生現況図作成」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) Webページによる公開（2015年6月20日、<http://negis.tuis.ac.jp/kenkyu11405/>）

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 宮脇昭（1977）．日本の植生．学研，東京．
- 2) 岩田悦行（1971）．北上山地の二次植生特に草地植生に関する生態学的研究．岐阜大学農学部研究報告，30，288-430．
- 3) 石塚和雄（1968）．岩手県におけるコナラ二次林とミズナラ二次林の分布および北上山地の残存自然林の分布について．「一次生産の場となる植物群集の比較研究，昭和42年度報告」（吉岡邦二編），153-163．仙台．
- 4) 石塚和雄（1981）．北上山地・三陸沿岸地域の森林植生の分布と気候．「北上山地森林植生の生態学的研究，文部科学省一般研究費（'978-1980）報告集」（石塚和雄編），1-7．山形．
- 5) 原正利（2006）．東日本太平洋側におけるブナの分布とその下限を規定する要因について．植生学会誌，23，1-12．
- 6) 原正利（2006b）．東日本太平洋側におけるブナを含む森林群落の生態地理的特徴．植生学会誌，23，137-152．
- 7) Hara, M. (2010). Climatic and historical factors controlling horizontal and vertical distribution patterns of two sympatric beech species, *Fagus crenata* Blume and *Fagus japonica* Maxim., in eastern

Japan. Flora, 205, 161-170.

- 8) 福嶋司・高砂裕之・松井哲哉・西尾孝佳・喜屋武豊・常富豊（1995）．日本のブナ林群落の植物社会学的新体系．日本生態学会誌，45:79-98.
- 9) 野寄玲児・奥富清（1990）．東日本における中間温帯性自然林の地理的分布とその森林帯的位置づけ日本生態学会誌，40, 57-69.

(4) 震災被災地における現地検証

学校法人東北学院東北学院大学

教養学部

平吹 喜彦

平成26～28年度累計予算額：2,223千円（うち平成28年度：663千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

2011年3月11日に発生した千年に一度とされる大地震・大津波によって、東北地方の太平洋沿岸域は著しい攪乱を受けた。低平な砂浜海岸と沖積平野から構成される宮城県中・南部の仙台湾岸域では、①大地震・大津波そのものによる攪乱と、その後の②生物種・生態系の自律的再生および③復旧・復興事業による攪乱・修復によって、土地被覆が急激かつ広域的に変化している。とりわけ津波襲来領域における地形の平坦化・均一化と、植生・生物多様性・生態系の劣化・減少・断片化・移入種（外来種）優勢化の進捗が顕著である。そこで本研究では、『衛星リモートセンシングによる広域スケール生物多様性モニタリング及び予測手法の開発』プロジェクトの枠組みの下、仙台市の沿岸域を最重点調査地とした上で、①高頻度の野外調査により、植生様態の季節的・経年的律動をファイン～ミクロスケール（0.1～500m空間単位）で把握するグランドトゥルースを行い、②運用・活用実績を蓄積してきたMODISを中核としながら、より分解能の優れた複数の衛星データをも用いた解析を実施して、相互比較を通じてリモートセンシング技法の高度化を図り、土地被覆の変化を的確かつ迅速に把握しうる解析手法の開発に努めた。そして、③東日本大震災被災地の復旧・復興事業をはじめ、日本・世界各地で発生増加が懸念されている大規模災害に適応しうる土地利用や生態系インフラストラクチャーのあり方について、社会実装を意図した実践的検討を行った。その結果、①宮城県中・南部の仙台湾岸域では、「砂浜や砂丘、潟湖、干潟、河川・水路、後背湿地、自然堤防といった立地区分」および「復旧・復興事業を所管する行政機関が設定した工事の区画・期間」に応じて、土地被覆がモザイク状に変化する実態が把握され、②時間分解能が高い反面、空間分解能が500mのMODISは、砂浜海岸エコトーン内部の植生ダイナミクスを適切に検出することは難しいものの、平野に広がる水田域や丘陵地の森林域に開削された土取場などの植生変化抽出に威力を発揮することが明らかになった。

[キーワード]

東日本大震災、仙台湾岸域、MODIS、土地被覆動態、多重時空間スケール

1. はじめに

2011年3月11日に発生した千年に一度とされる大地震・大津波によって、東北地方の太平洋沿岸域は著しい攪乱を受けた。宮城県中・南部の仙台湾岸域では、マグニチュード9.0の激しく長い揺れと地盤の液状化、20～80cmに及ぶ地盤沈降が生じ、高さ10mにも達する津波が押し寄せて、地盤や地形、植生、生態系、地上構造物、そして地域社会は著しく変貌した。しかし驚いたことに、自生の野生動植物とそれらの潜在的ハビタットは、個体数や占有面積を減じつつも、攪乱後にお

いても多数存在し、専門家の予想を超える速さと広がりでも自律的に回復し続けている^{1), 2), 3), 4), 5), 6), 7), 8), 9), 10), 11), 12)}。一方、大規模な防災施設の建造や客土・盛土、土地造成を伴う復旧・復興事業が各所で実施され、津波襲来領域の地形の平坦化・均一化と、植生・生物多様性・生態系の劣化・減少・断片化・移入種（外来種）優勢化の進捗が顕著である^{11), 12), 13), 14)}。

「東日本大震災の広大な大津波被災地において、①大地震・大津波そのものによる攪乱と、その後の②生物種・生態系の自律的再生および③復旧・復興事業による攪乱・修復によって、土地被覆が急激かつ広域的に変化している」という状況は、「生態系サービスや生態系レジリエンスの評価、あるいは持続可能な地域の創出といった人類の危急的課題に対して、有益な情報を提供しうる歴史上希有な機会である」ことをも意味する。そこで本研究では、『衛星リモートセンシングによる広域スケール生物多様性モニタリング及び予測手法の開発』プロジェクトの枠組みの下、仙台市の沿岸域を最重点調査地とした上で、次の3点を目標に掲げて活動を推進した：①リモートセンシングのラベリングおよび識別した土地被覆ユニットの生物多様性評価・ハビタット評価を合理的に行うためのランドトゥールースとして、多重時空間スケールにおける植生様態を、高頻度の野外調査を通じて把握すること。②MODISを中核としながら複数の衛星が取得したデータを対比させつつ、リモートセンシング技法の高度化を図り、土地被覆の変化を的確かつ迅速に把握しうる解析手法を開発すること。そして、③東日本大震災をはじめ、日本・世界各地で発生増加が懸念されている大規模災害に適応しうる土地利用や生態系インフラストラクチャーのあり方を、社会実装を意図して検討すること。

具体的には、大地震・大津波による攪乱とその後の復旧・復興事業が、「南北およそ60km、東西（汀線から内陸に）およそ5.5kmにまで及ぶ、ほぼ連続する広大な領域」で生じた仙台湾湾岸の海岸・沖積平野域を主たる調査地として、「季節的律動（フェノロジー）と0.1～500m（ファイน์～ミクروسケール）を時空間ユニットとする土地被覆実態のランドトゥールース」および「土地被覆情報をすばやく更新・提供しうる可能性を秘めたMODISを用いたデータ解析技法の高度化」を研究推進の両輪として実施した。特に、発災前後の現地情報がより詳しく、継続的に蓄積され、また「多重防御」政策の下で各種の復旧・復興事業がいち早く実施されてきた仙台市の沿岸域を最重点調査地とした上で、ここでは①砂浜海岸エコトーンの成帯構造に基づく植生動態の調査、②高頻度で取得したMODISデータや分解能が異なる複数の衛星データを用いた重層的な画像解析、③植生様態（植被率、季節変動、希少種、立地指標種、種多様性、群落構造に着目）を指標とした、土地被覆ユニットの生物多様性評価・ハビタット評価や沿岸域の合理的・統合的マネジメントに関する景観生態学的な検討など、さまざまな挑戦的調査・解析を行った。

本稿では、3か年にわたるこうした取り組みの手順や成果、課題について、概要を報告する。

2. 研究開発目的

広大な東日本大震災の大津波被災地では、①大地震・大津波そのものによる攪乱と、その後の②生物種・生態系の自律的再生および③復旧・復興事業による攪乱・修復によって、土地被覆が急激かつ広域的に変化している。『衛星リモートセンシングによる広域スケール生物多様性モニタリング及び予測手法の開発』プロジェクトの枠組みの下で実施された本研究では、こうした様態を「生態系サービスや生態系レジリエンスの評価、あるいは持続可能な地域の創出といった人類の危急的課題に対して、有益な情報を提供しうる歴史上希有な機会」と認識して、①季節的律

動と0.1～500m（ファイン～ミクロスケール）を調査単位とする空間区分をさまざまに組み合わせた多重時空間スケールにおける植生様態を、高頻度の野外調査を通じて把握すること、②運用・活用実績を蓄積してきたMODISを中核としながら複数の衛星データを対比させつつ、リモートセンシング技法の高度化を図り、土地被覆の変化を的確かつ迅速に把握しうる解析手法を開発すること、そして、③東日本大震災被災地の復旧・復興事業をはじめ、日本・世界各地で発生増加が懸念されている大規模災害に適応しうる土地利用や生態系インフラストラクチャーのあり方について、社会実装を意図した検討を行うこと、の3点をめざした。

3. 研究開発方法

土地被覆、すなわち植生や土地利用状況が急激かつ広域的に変化している東日本大震災の被災地で、上述した3点の目標を達成すべく、次の項目・手順によって研究開発を進めた。なお、主たる調査地は、大地震・大津波によって攪乱され、その後に生物種・生態系の自律的再生と復旧・復興事業による攪乱・修復が生起している仙台湾湾岸の海岸・沖積平野域で、それは宮城県最南端の山元町磯から県央の石巻市万石浦に至る南北およそ60km、東西（汀線から内陸に）およそ5.5kmに及ぶ領域である。実施期間は、2014年4月から2017年3月の3年間である。

野外調査では、「季節的律動と0.1～500m（ファイン～ミクロスケール）を調査単位とする空間区分をさまざまに組み合わせた多重時空間スケールにおける植生様態の把握」をめざして、①砂浜海岸や沖積平野の土地被覆を規定する地域本来の地形・植生構造および土地利用の歴史変遷の両者を俯瞰的に認識するための、先行研究の収集および精査、②植物の季節的律動（フェノロジー）や多様な復旧・復興工事のモザイク状の生起を、相観や優占種、立地指標種などに着目して高頻度で記録するグラントゥールス、③仙台市沿岸域を事例として、多様かつ希少な生態系が連環しつつ、多重防御計画の下で復旧・復興工事が並列する砂浜海岸エコトーンにおける立地と植生の重点調査（微地形や土壤環境調査、植物社会学的な手法による植生調査など）、④仙台湾湾岸域の土地被覆特性の鮮明化、および砂浜海岸エコトーンや沖積平野における地形・植生・生態系・土地利用のあり方を一般化するための、下北・津軽・房総半島や遠州灘沿岸などの海岸・沖積平野域におけるグラントゥールス、を実施した。

「MODISを用いてリモートセンシング技法の高度化を図り、土地被覆の変化を的確かつ迅速に把握しうる解析手法を開発すること」に関しては、①これまで運用・活用実績を蓄積してきたMODISを用いて、解析に用いる波長領域の工夫やNDVIの差分分析といったリモートセンシング技法の高度化による植生タイプ固有の季節変動の抽出、②Landsat/TM、OLI、RapidEyeなど、時間・空間分解能が異なる衛星データの解析結果との対比を通じたMODISの解析特性の鮮明化、および相乗的な解析手法の開発を実施した。

「東日本大震災の復旧・復興事業をはじめ、日本・世界各地で発生増加が懸念されている大規模災害に適応しうる土地利用や生態系インフラストラクチャーのあり方について、社会実装を意図した検討を行うこと」に関しては、高頻度・多重時空間スケールのグラントゥールスとMODISを中核としたリモートセンシング技法の高度化にかかわる研究成果を受けて、①大津波被災地における土地被覆のパターンとプロセスを景観生態学的な視点から解析し、②大津波と復旧・復興事業が自然環境に及ぼすインパクトをフィールドに立脚して評価し、自律的に再生しつつある野生動植物とハビタットに対するダメージの回避・低減対策に直結する順応的管理について、実践

的に考究した。

4. 結果及び考察

(1) 多重時空間スケールによる植生様態の把握

「多重時空間スケールによる植生様態の把握」にかかわる調査結果は、以下の4点に要約される。

1) 主たる調査地とした「大津波によって攪乱された、南北およそ60km、東西（汀線から内陸に）およそ5.5kmに及ぶ広大な海岸・沖積平野領域」としての仙台湾湾岸域に関して、①地形や地質、土壌、植生、動植物、生態系、土地利用、災害・防災、自然環境保全などにかかわる先行研究成果を収集し、②歴史の変遷や景観生態学的な特性、東日本大震災に伴う自然的・人為的な攪乱や再生（修復）の様態にかかわる情報を、「湾岸スケールから海岸エコトーンスケール、生態系・植生タイプスケールに至る多重時空間スケール」の下で階層的に整理した。

2) 仙台湾湾岸域、とりわけ仙台市の大津波襲来領域において、「季節的律動（フェノロジー）と0.1～500m空間区分とをさまざまに組み合わせた多重時空間スケール」の下で高頻度の野外調査を行い、自律的な植生再生と復旧・復興事業による破壊・修復の影響に着目しつつ、土地被覆の様態を調査・追跡した。具体的には、①汀線に沿って砂浜、砂丘、潟湖・干潟や後背湿地が並列し、砂裸地や砂浜植生、防潮堤、海岸林、塩性・淡水性湿地、畑地などが成帯的に分布する砂浜海岸エコトーンや②砂浜堤や自然堤防、後背湿地、河川・水路、湖沼が混在し、水田や畑地、河辺・湿地植生、屋敷林、住宅地、商工業地、人工造成地などが散在する沖積平野において、土地被覆の様態を相観と優占植物、植物社会学的な調査結果を用いて記録した。

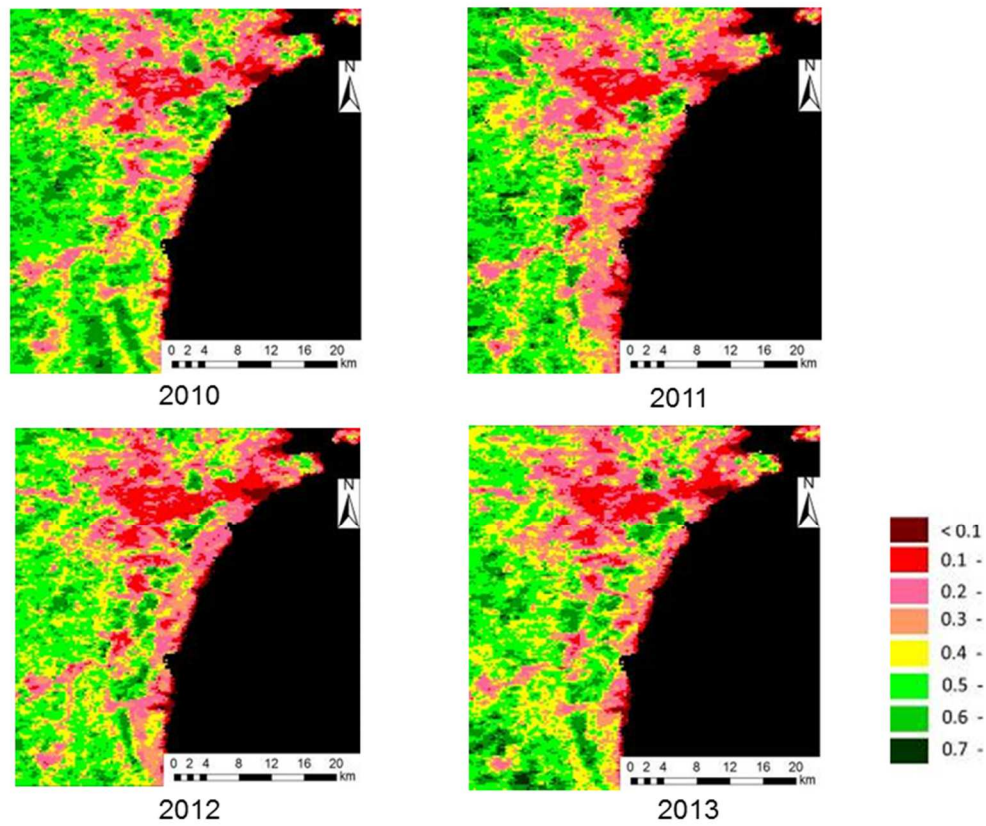
3) 砂浜海岸エコトーンや沖積平野における地形・植生・生態系・土地利用のあり方を一般化し、また仙台湾湾岸域の特性を明確にするために、下北・津軽半島や房総半島、遠州灘沿岸などの海岸・沖積平野域でグランドトゥルースと文献収集を行った。これにより、群系（バイオーム）や砂浜・砂丘の発達程度、地域の開発史などに応じた相異、およびこうした地域特性を超えた「土地本来の立地や生物種、生態系の特性を尊重した、伝統的な土地利用の理念や技法」を抽出した。

4) 主に砂浜海岸エコトーンにおける植物社会学的な調査結果に照らして、衛星リモートセンシングによって抽出した土地被覆ユニットの独自性とその変遷にかかわる植物種の組成・動態を解析し、衛星リモートセンシングによる生物多様性把握の意義と課題について考察した。

(2) MODISを中核とした衛星データ解析技法の高度化

「MODISを中核とした衛星データ解析技法の高度化」にかかわる調査結果は、以下の3点に要約される。

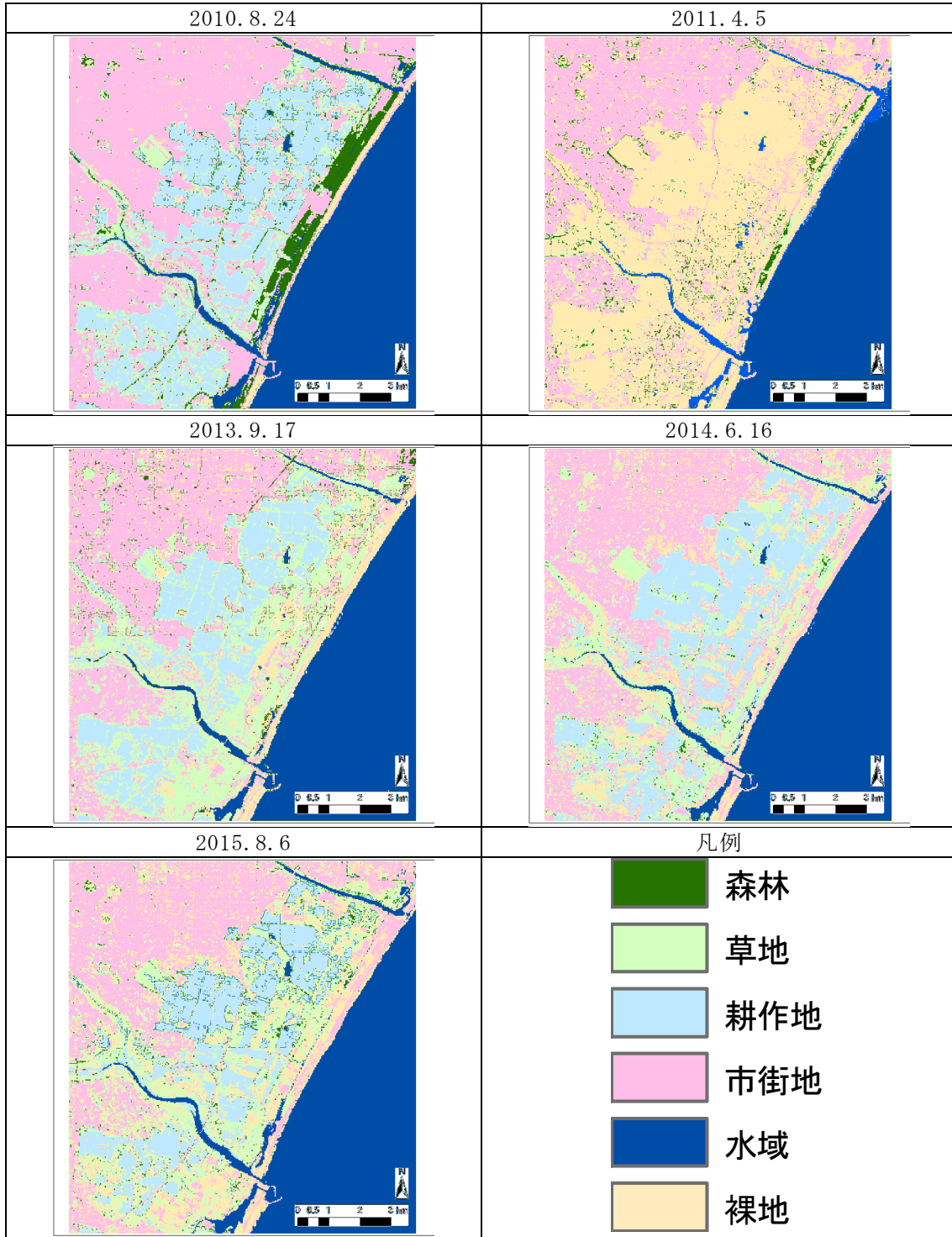
1) これまでの運用・活用実績の蓄積、および本プロジェクトのサブテーマ 2 で整備された「植物の生育期間をカバーする月ごとコンジットデータ」などが活用可能なMODISデータを用いて、FFTプロファイル補正とOMD法を導入したフェノロジカルな解析手法を考案した。各年次のMODISデータの年間の最大NDVI値を算出し、これを仙台湾湾岸域に適用することで、震災直後の水田耕作地の被災状況や、大津波来襲直後に水田に出現した夏型一年生イネ科植物群落、さらに、復旧事業による水田耕作の再開などを的確かつ迅速に把握することに成功した（図(4)-1）。



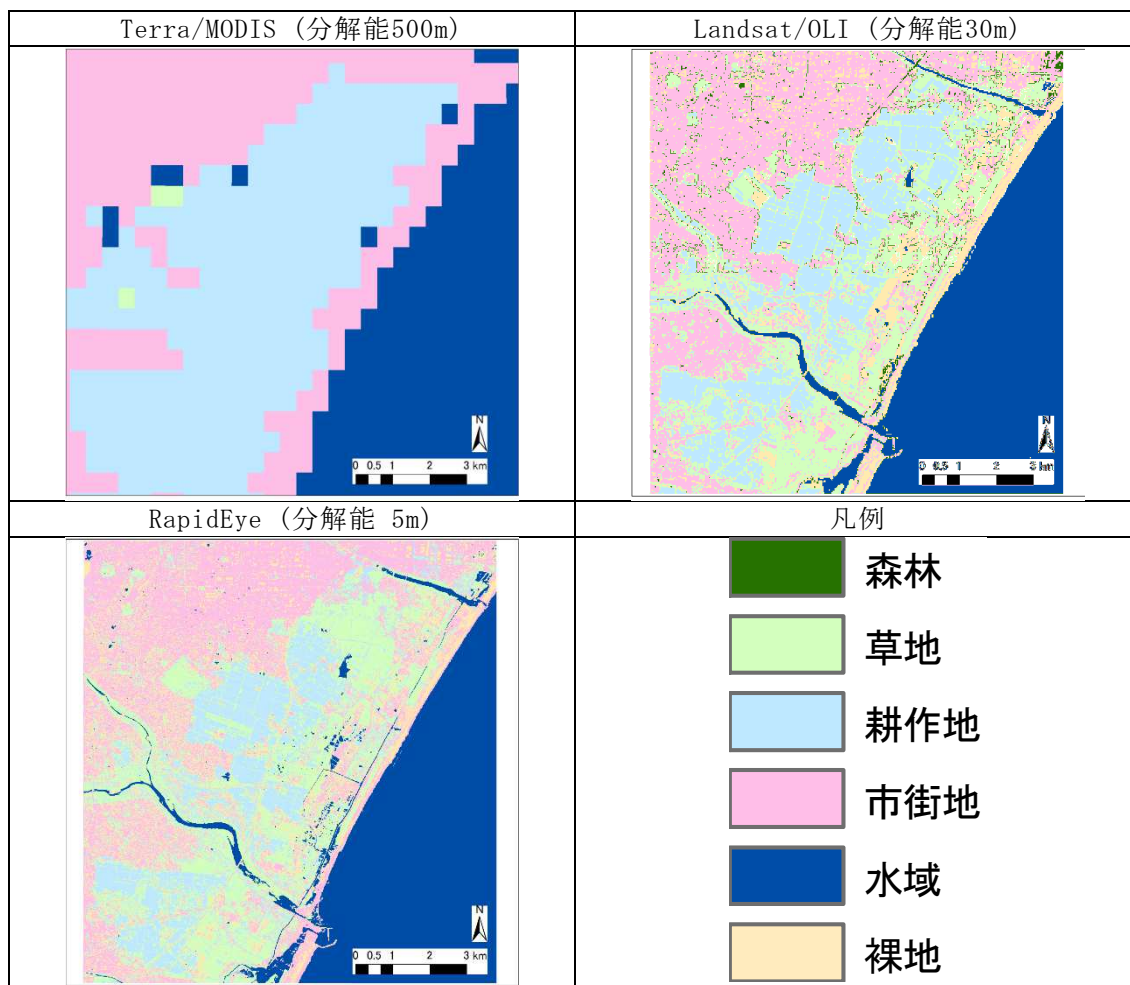
図(4)-1 MODISデータにより求めた震災前（2010年）と震災後（2011-2013年）の最大NDVI値

表(4)-1 震災被災地における土地被覆分類の解析に用いた衛星データ

年	月	日	衛星/センサ
2010	8	24	Landsat/TM
2011	4	5	Landsat/TM
2013	9	17	Landsat/OLI
2013	4, 5, 6, 8, 9, 10, 11	-	Terra/MODIS
2013	8	4	RapidEye
2014	6	16	Landsat/OLI
2015	8	6	Landsat/OLI



図(4)-2 Landsat/TM, OLIを用いた震災被災地における土地被覆分類の時系列変化



図(4)-3 2013年のTerra/MODIS, Landsat/OLI, RapidEyeデータを用いた震災被災地における土地被覆分類結果

2) MODISデータを用いて、仙台市の大津波襲来領域におけるNDVIや地温の季節変動パターンを図化し、東日本大震災前後の土地被覆、特に植被の変遷プロセスの把握に努めた。その際、多重時空間スケールの枠組みの下で実施した文献・現地調査によって収集した「植生タイプおよび立地の生態的特性・分布状況、優占種のフェノロジーなどにかかわる情報」を活用することや、国土地理院が公開している空中写真およびGoogle社が公開している衛星画像などを参照することを通じて、解析精度の向上を図った。

3) MODISをはじめLandsat/TM、OLI、RapidEyeといった分解能や分光特性、取得インターバル、販売価格などが異なる衛星データを用いて、仙台市の大津波襲来領域における土地被覆タイプのラベリングを、複数年度にわたって行なった。その際、多重時空間スケールの枠組みの下で実施した文献・現地調査によって収集した「植生タイプや立地の生態的特性・分布状況、優占種のフェノロジーなどにかかわる情報」を活用することや、国土地理院が公開している空中写真およびGoogle社が公開している衛星画像などを参照することを通じて、解析精度の向上を図った。図(4)-2にLandsat/TM、OLIデータとMODISの土地被覆分類の比較結果を示す。

次に、MODISとこれら時間・空間分解能が異なる衛星の解析結果を対比させて、MODISデータから把握することができる土地利用タイプの判別特性や精度を検討し、その結果を『衛星リモートセンシングによる広域スケール生物多様性モニタリング及び予測手法の開発』プロジェクト全体に還元させた。

（3）大規模災害に適応しうる土地利用・生態系インフラストラクチャーの検討

「大規模災害に適応しうる土地利用・生態系インフラストラクチャーの検討」にかかわる調査結果は、以下の2点に要約される。

1) 主に仙台市域の砂浜海岸エコトーン・沖積平野において、優占種のマッピングや植物社会学的な調査結果と、衛星リモートセンシングによって抽出した土地被覆のパターンとプロセスに関する解析結果を擦り合わせて、大地震・大津波と復旧・復興事業が自然環境に与えたインパクトの評価を進めた。

2) 仙台湾湾岸域の被災地および国内4か所の対照地域におけるグランドトゥールースや文献収集、衛星データ解析を通じて、「土地本来の立地や生物種、生態系の特性を尊重した、伝統的な土地利用の理念や技法」を抽出し、景観生態学的な視点から生物資源や生態系サービスの持続可能な利活用、里浜・里地の景観構造に関する検討を進めた。さらに、東日本大震災被災地の復旧・復興事業をはじめ、日本・世界各地で発生頻度の増加が懸念されている大規模災害に適応しうる土地利用や生態系インフラストラクチャーのあり方について、社会実装を意図した検討を行った。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

2011年3月11日に発生した東日本大震災は、大地震・大津波にかかわる予知や防災・減災対策のあり方をはじめ、事後の人命救助や個人資産・インフラストラクチャー保全の進め方、そして復旧・復興施策の立案・実行に関して、現代科学が果たし得る貢献を顕在化させるとともに、少なからぬ課題と限界をも露呈させた。本研究では、景観生態学の視点から、仙台湾湾岸域とりわけ仙台市の大津波襲来領域において、①多重時空間スケールの下で、高頻度の野外調査を行い、自律的な植生再生と復旧・復興事業による破壊・修復の影響を記録し、②MODIS データを中心に、異なる時空間分解能と分光特性を有する衛星データ（Landsat/TM、OLI、RapidEyeなど）を対比させつつ、リモートセンシング技法の高度化を図り、土地被覆動態と景観構造を解析した。そして、③大震災が当該地域の生態系に与えた影響の評価、および復旧・復興事業に不可欠な自然環境への配慮施策を立案・実施するにあたって、基盤情報を具体的に提供した。

千年に一度とされる稀有の出来事に対して、こうした継続的・実践的研究は極めて限定されており、本研究によって集積されたデータや開発された技法、創出された復旧・復興事業を支援するしくみは貴重である^{2), 12), 15)}。今後、日本や世界各地で発生増加が懸念されている大規模災害に対して、適応しうる土地利用や生態系インフラストラクチャーの社会実装を進める上で、貢献できるに違いない。

（2）環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

東日本大震災の被災地では、減災・防災施設の充実に軸足を置いた、スピード感のある復興が求められ、実行されてきた。しかし、長大かつ多重の津波防災施設や広大な盛土地・造成裸地の出現を目の当たりにして、地域本来の自然環境の劣化・消失に憂いや疑義、改善を唱える事例が増加している。東日本大震災の被災地の多くは、元来、良好な自然環境の恩恵の下でのみ成立しうる漁業や観光を基幹産業とし、また里浜・里海という自然共生的・文化的・社会的枠組みの下で存続してコミュニティである。国や地方自治体が、「万人が共有し、未来へ継承すべき自然環境」と評価し、法令により保護・保全を図ってきた各種の自然公園や環境保全地域に指定されている領域も少なくない。

本研究は、「季節的律動（フェノロジー）と0.1～500m（ファイン～ミクロスケール）を時空間ユニットとする土地被覆実態のグランドトゥルース」および「土地被覆情報をすばやく更新・提供しうる可能性を秘めたMODISを用いたデータ解析技法の高度化」を両輪として実施されたが、その成果は、被災地で発生している「復興事業の推進と自然環境の保護・保全の両立」という課題の改善に早速活かされた（「7. 研究成果の発表状況」の「（4）「国民との科学・技術対話」の実施」や「（5）マスコミ等への公表・報道等」の記述参照）。具体的には、仙台湾岸域において防潮堤復興事業を所管する国土交通省や農林水産省、宮城県、海岸林復興事業を所管する林野庁や宮城県、河川堤防復興事業を所管する宮城県、海岸公園復興事業を所管する仙台市、農地復興事業を所管する宮城県などに対して、海岸・平野域の自然環境・土地利用の基本構造やその時代変遷、大地震・大津波による植生の破壊とその後の自律的再生の実態、希少なハビタットや生物種の分布・生育情報、そして生態系や郷土景観の保護・保全を進めるための指針・手法などを提示し、そのいくつかが自然環境の保護・保全対策として導入された。

<行政が活用することが見込まれる成果>

東日本大震災の発災によって、「そもそも日本列島自体が、災害の多発する地勢下にある」という認識が広く共有され、また人智が及ぶ限界を認識しつつも、豊かな社会の持続に向けてさらに信頼度の高い自然環境・自然現象のモニタリング、そして生態系の特性を活用した合理的・統合的な防災・減災対策の実行が強く求められる状況が生じている。

2014年、日本学術会議統合生物学委員会・環境学委員会合同自然環境保全再生分科会は『復興・国土強靱化における生態系インフラストラクチャー活用のすすめ』¹⁶⁾を公表した。この提言は、1990年代以降、世界各国が推進してきた「健全な生態系を活用した減災・防災施策」や「green infrastructure」の流れを受けて、「生態系インフラストラクチャー（ecosystem-based infrastructure）」の社会実装を求めるものであり、環境省自然環境局（2016）の『生態系を活用した防災・減災に関する考え方』¹⁷⁾に例示されるように、直ちに多くの行政機関・シンクタンク等がこの概念に沿った政策を検討し始めている。本研究では、東日本大震災時の大地震・大津波で著しい攪乱・混乱が生じた後、立地本来の生態系が自律的にすばやく再生し始め、一方では大規模な復興事業がいくつも同時進行する仙台湾岸域を調査対象として、「土地被覆動態を迅速かつ高精度で把握し、公開すること」を検討した。この研究から得られた知見は、実践的な教訓として、こうした政策の立案、あるいは国内各地で実施されている事前復興事業や国土強靱化事業の推進にあたって有用である。

6. 国際共同研究等の状況

地球温暖化に伴う巨大災害への適応、あるいは生態系サービスとそれを支える生物多様性の持続を模索する世界各国は、「千年に一度という極めて稀な巨大攪乱」としての東日本大震災（大地震、大津波、放射能汚染）が自然や社会に及ぼした影響に関心を抱き、そして日本がめざす「未来志向の復興」のありようを注視している。国際的な枠組みの下、1990年代に提唱されて社会実装が図られてきた「健全な生態系を活用した減災・防災」や「持続可能な開発」はそれを象徴する概念・活動計画である。本研究では、「7. 研究成果の発表状況（1）誌上発表および（2）口頭発表（学会等）」の項目に記述した国際学会・集会における成果発表や招待講演に対して参加者から関心が寄せられ、グランドトゥルースや衛星データの解析方法、研究結果の解釈や社会実装などに関して生産的な議論がなされた。組織的な国際共同研究の実施には至っていないものの、タイや合衆国、中国などの専門家との学術交流が深まっている。

7. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 岡浩平、平吹喜彦：日本緑化工学会誌，41，1，79-84（2015年）
「津波で攪乱された海岸林内の根返り跡に成立した湿地植生と微環境特性」
- 2) K. Hara, Y. Zhao, I. Harada, M. Tomita, J. Park, E. Jung, N. Kamagata, Y. Hirabuki: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-7/W3, 805-809 (2015).
“Multi-scale monitoring of landscape change after the 2011 Tsunami.”
- 3) R. C. Sharma, K. Hara, H. Hirayama, I. Harada, D. Hasegawa, M. Tomita, J. Park, I. Asanuma, K. M. Short, M. Hara, Y. Hirabuki, M. Fujihara, R. Tateishi: Advances in Remote Sensing, 6, 1, 54-65 (2017).
“Production of Multi-features Driven Nationwide Vegetation Physiognomic Map and Comparison to MODIS Land Cover Type product.”

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 平吹喜彦：『生態学が語る東日本大震災－自然界に何が起きたのか－』（日本生態学会東北地区会編），172-176，文一総合出版（2016）
「地域復興と減災・防災対策に「海岸エコトーン」という視点を」
- 2) M. Tomita, Y. Hirabuki, H. Kanno, K. Hara: Ecological impacts of tsunamis on coastal ecosystems: Lessons from the Great East Japan Earthquake (eds. J. Urabe, T. Nakashizuka), 383-394, Springer (2016)
“Influences of large, infrequent disturbance caused by tsunami on coastal forest communities.”

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) K. Hara, Y. Zhao, M. Tomita, N. Kamagata and Y. Hirabuki: The 57th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Perth, Australia, September 2014
“Remote sensing analysis of tsunami damage and recovery process of coastal vegetation in northeast Japan.”
- 2) Y. Hirabuki, M. Tomita, H. Kanno, Y. Zhao, K. Hara and I. Harada: The 4th International Conference of Urban Biodiversity and Design, Incheon, Korea, October 2014
“Vegetation dynamics following the 2011 huge-earthquake/tsunami disturbance in an urban coastal ecotone.”
- 3) 原田一平、原慶太郎、朴鍾杰、浅沼市男、富田瑞樹、長谷川大輔、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：日本リモートセンシング学会第57回学術講演会（2014年11月）
「Terra/MODISを用いた日本における植生図化手法の開発」
- 4) 平吹喜彦、原慶太郎、富田瑞樹、西廣淳、岡浩平、菅野洋、杉山多喜子、滝口政彦：日本生態学会東北地区会第59回大会（2014年12月）
「仙台市東縁の砂浜海岸エコトーンにおける植生の動態と保全・修復活動」
- 5) 平吹喜彦、南蒲生/砂浜海岸エコトーンモニタリングネットワーク：日本生態学会第62回全国大会（2015年3月）
「仙台湾南部海岸エコトーンの4年間とこれから：自然環境の自律的再生と復興工事」
- 6) 藤原道郎、伊藤休一、原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、原正利、平吹喜彦：日本生態学会第62回全国大会（2015年3月）
「衛星リモートセンシングによる植生図化のための2.5万分の1植生図凡例の検討」
- 7) K. Hara, Y. Zhao, I. Harada, M. Tomita, J. Park, E. Jung, N. Kamagata, Y. Hirabuki: The 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Berlin, Germany, May 2015
“Multi-scale monitoring of landscape change after the 2011 Tsunami.”
- 8) 富田瑞樹、菅野洋、平吹喜彦、原慶太郎：日本景観生態学会第25回全国大会北九州大会（2015年6月）
「津波による攪乱後の樹木群集に攪乱前の履歴が与える影響 — 仙台平野を例に —」
- 9) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：日本景観生態学会第25回全国大会北九州大会（2015年6月）
「生物多様性評価のための衛星リモートセンシングによる広域スケール植生現況図作成」
- 10) Y. Hirabuki, M. Tomita, H. Kanno, J. Nishihiro, K. Oka, K. Hara, Y. Zhao and I. Harada: The 9th International Association for Landscape Ecology World Congress, Portland, Oregon, USA, July 2015
“Rapid and Heterogeneous Vegetation Recovery Following the 2011 Earthquake/Tsunami: New Findings Supporting Integrated Coastal-Ecotone Management.”
- 11) M. Tomita, H. Kanno, Y. Hirabuki and K. Hara: The 9th International Association for Landscape Ecology World Congress, Portland, Oregon, USA, July 2015
“Distribution of remnant forests and tree communities in the 2011 tsunami-inundated area, Sendai Japan.”

- 12) 岡浩平、平吹喜彦：第46回日本緑化工学会大会（2015年9月）
「津波で攪乱された海岸林内の根返り跡に成立した湿地植生と微環境特性」
- 13) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：植生学会第20回大会（2015年10月）
「衛星リモートセンシングデータを用いた広域スケール植生図化手法の開発」
- 14) 平吹喜彦、岡浩平、菅野洋、南蒲生/砂浜海岸エコトーンモニタリングネットワーク、北の里浜 花のかけはしネットワーク、緑を守り育てる宮城県連絡会議：植生学会第20回大会（2015年10月）
「仙台湾南部海岸の復興工事エリアにおける在来砂浜植物の生育状況と生態緑化活動」
- 15) 岡浩平、平吹喜彦：平成27年度日本海岸林学会金沢大会（2015年10月）
「仙台湾沿岸名取地区における盛土回避による海浜植物の保全効果」
- 16) 原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：日本リモートセンシング学会第59回学術講演会（2015年11月）
「Terra/MODISを用いた日本における植生図化手法の開発（その2）」
- 17) 平吹喜彦：自然再生フォーラム「仙台湾岸に学ぶ激甚災害後の砂浜植生の再生と保全」（日本生態学会生態系管理専門委員会主催）（2015年11月）
「激甚災害後の海岸エコトーンの復旧・復興 ー生態系の回復と保全における課題ー」
- 18) 原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：第16回自然環境復元学会全国大会（2016年2月）
「Terra/MODIS を用いた日本における広葉樹林の分布について」
- 19) 平吹喜彦、南蒲生/砂浜海岸エコトーンモニタリングネットワーク、北の里浜 花のかけはしネットワーク、緑を守り育てる宮城県連絡会議：第16回自然環境復元学会全国大会（2016年2月）
「東日本大震災で被災した仙台市新浜海岸における植生保全・地域復興活動」
- 20) 平山英毅、富田瑞樹、原慶太郎、平吹喜彦：第16回自然環境復元学会全国大会（2016年2月）
「仙台湾沿岸域における東日本大震災前後の森林パッチの抽出と連結性」
- 21) 平吹喜彦：第19回日本生態学会公開講演会「生態学から見た東日本大震災」（2016年3月）
「豊かさの持続：よみがえる海浜生態系に学ぶ」
- 22) 富田瑞樹、菅野洋、平吹喜彦、原慶太郎：第63回日本生態学会大会（2016年3月）
「分断化景観における樹木群集の組成に履歴が与える影響」
- 23) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：第63回日本生態学会大会（2016年3月）
「生物多様性評価のためのMODISデータによる日本全土の植生現況図作成」
- 24) 平吹喜彦、菅野洋、鈴木建司朗、佐藤愛実、鈴木大駿、佐々木将、岡浩平、富田瑞樹、原慶太郎：第63回日本生態学会大会（2016年3月）
「被災から5成育期目の南蒲生/砂浜海岸エコトーンにおける多様な立地と更新樹木集団」
- 25) 平吹喜彦、富田瑞樹、菅野洋、岡浩平、原慶太郎：日本景観生態学会第26回全国大会北海道大会（2016年7月）
「南蒲生/砂浜海岸エコトーンにおける林木種集団の自律的再生と復興・防災事業再考」

- 26) 平吹喜彦、富田瑞樹、菅野洋、岡浩平、原慶太郎：日本景観生態学会第26回全国大会北海道大会ポストイベント「北の海辺で考える砂浜海岸とのつきあい方」ミニシンポジウム（2016年7月）
「防潮堤・海岸林の復旧事業に揺れる仙台平野の砂浜海岸」
- 27) M. Tomita, H. Kanno, Y. Hirabuki, K. Hara: The 5th International EcoSummit Congress, Montpellier, France, August 2016
“Species composition and spatial distribution of remnant forests in the 2011 tsunami-inundated area, Sendai Japan”
- 28) 平吹喜彦、富田瑞樹、菅野洋、鈴木大駿、岡浩平、原慶太郎：植生学会第21回大会（2016年10月）
「南蒲生/砂浜海岸エコトーンにおける林冠樹種集団の動態：東日本大震災に伴う攪乱と自律的再生」
- 29) 平吹喜彦、富田瑞樹、菅野洋、鈴木大駿、岡浩平、原慶太郎：第63回海岸工学講演会（2016年11月）
「東日本大震災に伴う砂浜海岸エコトーンの攪乱と回復」
- 30) 富田瑞樹、菅野洋、平吹喜彦、原慶太郎：第64回日本生態学会全国大会（2017年3月）
「大規模攪乱後に残存した樹木群集の組成と立地環境の関係」

（3）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

（4）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) Webページによる公開（2015年6月20日、<http://negis.tuis.ac.jp/kenkyu11405/>）

（5）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

（6）その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 平吹喜彦・富田瑞樹・菅野洋・原慶太郎. 2011. 東日本大震災・大津波で被災した仙台湾砂浜海岸エコトーンとその植生状況. 薬用植物研究, 33(2): 45-57.
- 2) 平吹喜彦・原慶太郎・富田瑞樹. 2012. 砂浜海岸エコトーンの復興デザイン. BIOCITY(ビオシティ), 52: 34-40. (株)ブックエンド.
- 3) 永幡嘉之. 2012. 巨大津波は生態系をどう変えたか. 214pp. 講談社.
- 4) 富田瑞樹・平吹喜彦・菅野洋・原慶太郎. 2013. 海岸林の津波攪乱跡地における生物的遺産の分布と堆砂状況. 自然環境復元研究, 6: 51-60.
- 5) 五十嵐由里・斎藤勝雄・高橋雄一. 2013. よみがえった昆虫たち - 南蒲生/砂浜海岸エコト-

- ンモニタリングサイトの800日ー. 自然環境復元研究, 6: 61-67.
- 6) 原正利. 2014. 津波影響調査の結果について. 植生情報, 18: 21-40.
 - 7) 滝口政彦・平吹喜彦・菅野 洋・内藤俊彦・杉山多喜子・下山祐樹・葛西英明. 2014. 宮城県の東日本大震災津波被災域における劇的な植生変遷. 植生情報, 18: 55-69.
 - 8) 黒沢高秀. 2014. 東日本大震災前後の福島県の海岸の植生と植物相の変化および植生や植物多様性の保全の状況. 植生情報, 18: 70-80.
 - 9) 南蒲生/砂浜海岸エコトーンモニタリングネットワーク, <https://sites.google.com/site/ecotonesendai/> (2016年2月5日最終確認) .
 - 10) 国立情報学研究所, http://ci.nii.ac.jp/vol_issue/nels/AA11857952/ISS0000509510_ja.html/ (2016年2月5日最終確認) .
 - 11) 環境省自然環境局生物多様性センター, <http://www.shiokaze.biodic.go.jp/?ga=1.122683147.1878713386.1482280839/> (2016年2月5日最終確認) .
 - 12) 日本生態学会東北地区会(編). 2016. 生態学が語る東日本大震災 ―自然界に何が起きたのか―. 191pp. 文一総合出版.
 - 13) 平吹喜彦. 2014. 「海岸防災林の広域盛土」という巨大防潮堤. 震災学, 4: 158-165. 東北学院大学.
 - 14) 鈴木孝男・平吹喜彦. 2014. 東北の海辺のいま ―巨大防潮堤・海岸防災林問題を考える―. 科学, 84(3): 314-318. 岩波書店.
 - 15) 西廣淳・原慶太郎・平吹喜彦. 2014. 大規模災害からの復興事業と生物多様性保全: 仙台湾南部海岸域の教訓. 保全生態学研究, 19(2); 221-226.
 - 16) 日本学術会議統合生物学委員会・環境学委員会合同自然環境保全再生分科会, 2014. 復興・国土強靱化における生態系インフラストラクチャー活用のすすめ, <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t199-2.pdf/> (2017年2月8日最終確認) .
 - 17) 環境省自然環境局, 2016. 生態系を活用した防災・減災に関する考え方, <http://www.env.go.jp/nature/biodic/eco-drr/pamph01.pdf/> (2017年2月8日最終確認) .

(5) 2.5万分の1植生図との検証

兵庫県立大学大学院

緑環境景観マネジメント研究科

藤原 道郎

平成26～28年度累計予算額：2,223千円（うち平成28年度：663千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

西日本の主要構成タイプである常緑広葉樹林は、生態的に分布域が異なるものもあり、MODISスケールのリモートセンシングでも一部分布特性が示されてはいるが、完全に識別することは困難であった。

理由としては2.5万分の1植生図では分布特性が示されるものの、一つ一つのパッチが小さく、MODISで示される空間的解像度との違いであると考えられた。また、ブナとミズナラほどのフェノロジーの差異はなく、区分は難しいと考えられた。

[キーワード]

凡例、分布特性、2次メッシュ、常緑広葉樹林、スケール

1. はじめに

日本の植生の現状は環境省の5万分の1および2.5万分の1植生図に示されているが、作成および改定には時間を要するため、衛星画像を用いた補完的な植生図が必要となっている。しかし、衛星リモートセンシングによる植生分類図ではこれまで蓄積されてきた種類組成に基づいた既存植生図の情報が欠落するため、既存植生図の凡例と衛星リモートセンシングによる凡例（分類クラス）との対応の検討が必要である。

2. 研究開発目的

開発などの人為的攪乱や農地や林地の管理水準の低下や管理停止などにより、日本の植生は急激に変化している。植生の現状を示すために環境省による2.5万分の1現存植生図が2004年から作成されているが完成にはいたっていない。そこで時間分解能の高い衛星画像による補完的な植生図が必要となっている。しかし衛星画像による植生図は林冠上層の優占植生による区分となるため、これまでの種類組成に基づいた植生区分を示すことができない。北東日本においては冷温帯域であり落葉広葉樹林が優占し、展葉時期の違いなどから優占樹種による植生図化の可能性が検討されている。一方、南西日本においては暖温帯域であり常緑広葉樹林が優占しており、また、人為的影響の強度、植生パッチの細かさ、竹林拡大やマツ枯れ等による急激な植生変化など、衛星画像での優占樹種の判読は困難となっている。本研究は、時間分解能の高い衛星画像データをもとにしつつ、種類組成という生物多様性にも対応した現地調査データも反映させた植生図の作成を目的とし、衛星画像による植生図化に課題のある西日本における凡例の検討を行った。

3. 研究開発方法

地域レベルの比較的詳細な植生凡例による植生図化が可能かどうかの検討を行うこととした。兵庫県淡路島の範囲を対象とし、MODISデータによる植生分類図（最小単位500mによる植生m）との対応を検討するため、環境省2.5万分の1現存植生図「須磨、田之代、明石、仮屋、志筑、洲本、由良、郡家、都志、広田、諭鶴羽山、福良、鳴門海峡」の各群落(凡例単位)の面積割合および250,000m²以上および未満のパッチ数割合を算出した。また、各群落の3次メッシュでの出現の状況を各群落が分布するメッシュ、各群落が面積の10%以上を占めるメッシュ、各群落が面積の25%以上を占めるメッシュに区分し、それぞれの分布図を作成し、各群落の出現数と分布特性から凡例として使用できるかどうか検討することにより植生図化の基礎資料を得ることを試みた。

次に、広域での解析を行うため、2.5万分の1植生図の各2次メッシュ（約10km \times 10km）に出現した植生タイプをリストアップした上で生育型により類別し2次メッシュ単位の分布をラスターデータで示した。優占種によりまとめ、分布パターンの類型化を行い、同所的分布、異所的分布に区分した。類型化された分布をもとに適正な凡例の検討を行った。

4. 結果及び考察

淡路島の範囲を対象とした環境省2.5万分の1現存植生図の各群落の面積および250,000m²以上のパッチ数割合は、水田雑草群落（25.9%、17.8%）、ウバメガシ二次林（14.2%、19.0%）、アベマキコナラ二次林（14.1%、17.0%）、シイ・カシ二次林（13.1%、17.8%）と10%以上の群落は一致していた（表(5)-1）。各凡例の全パッチ数に対する250,000m²以上のパッチ数の割合は、墓地等、市街地、ゴルフ場・シバ地、水田雑草群落が10%以上であった。対象地における植生分類図は、これら二次林、耕作地、都市的土地利用の影響を強く受けていることが示唆された。また、2.5万分の1植生図のラスター化により分布パターンが明らかとなった。常緑自然林は面積、パッチ数ともに限られており分布域が明瞭であった（図(5)-1）。アカガシ自然林は高標高域にわずかに分布、ウバメガシトベラ群集は沿岸域に特異的に分布し、スダジイ・コジイ自然林は内陸を中心とし比較的広範囲に分布していた（図(5)-2）。一方、常緑二次林は面積、パッチ数ともに多く分布特性が不明瞭となっており、ウバメガシ二次林は限られた平野部以外はほぼ全域に分布し、スダジイ・コジイ二次林も島中央部の平野および低標高域以外に広く分布していた（図(5)-1）。落葉広葉樹二次林は広く分布していた。これらの群落も面積25%以上を占めるメッシュは減少し、沿岸部から内陸部にウバメガシ二次林、スダジイ・コジイ二次林、落葉広葉樹二次林と明瞭ではないものの若干の分布傾向が見られるようになった。したがって、数は多くはないものの常緑自然林の群落ごとの分布パターンが明確になるなど、植生分類図に対応すべき情報が抽出された。

西日本の2次メッシュ2064個を対象とし、各常緑広葉樹自然林凡例の出現率をみると、スダジイ・コジイ群落（45.7%）が最も高く、次いでアラカシ（13.3%）、ウラジロガシ（13.2%）、タブノキ（12.3%）、ウバメガシ（12.3%）、シラカシ（8.3%）、アカガシ（7.1%）となっていた（表(5)-2）。スダジイ・ツブラジイは、分布も広範囲となっていた。スダジイ・コジイ自然林は高標高域を除いて広く連続して分布していた（図(5)-3）。アカガシ群落は高標高域、ウバメガシ群落は太平洋岸の四国・近畿地方を中心とした海岸から20km内陸部まで、タブノキ群落は太平洋および日本海岸沿岸に分布していた。

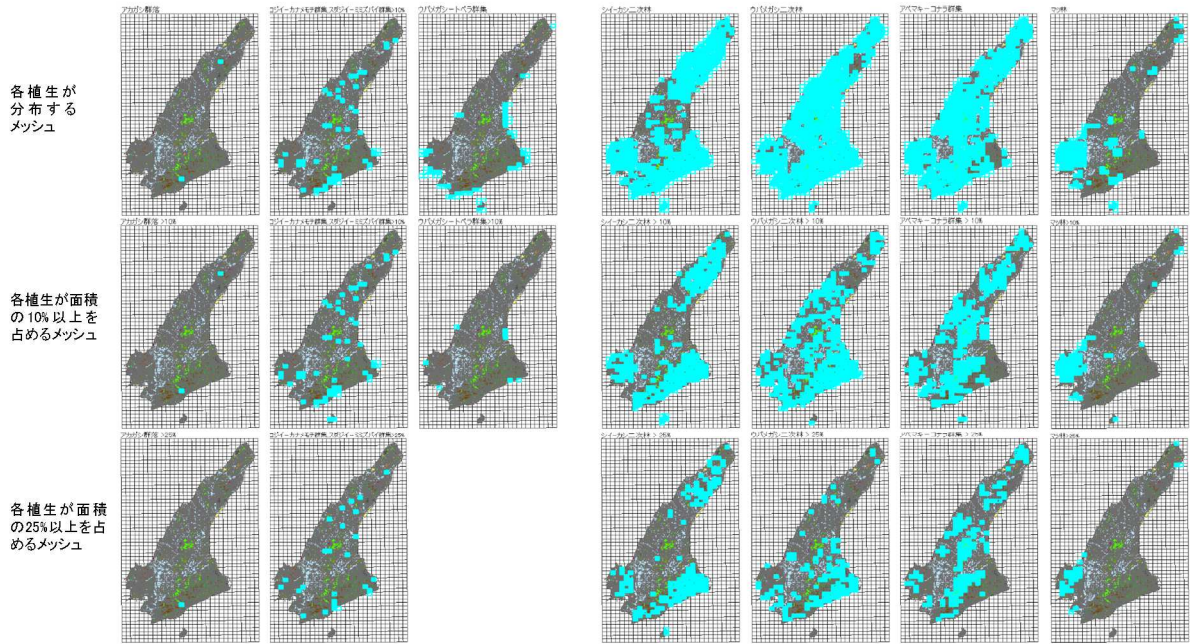
表(5)-1 衛星リモートセンシング植生分類図と2.5万分の1植生図の凡例および最小単位面積を閾値とした各凡例のパッチ数

MODIS による 凡例	第6, 7回自然環境保全基礎調査				面積(m ²)	パッチ数		
	大区分	中区分	細区分	凡例		250000m ²		
						計	未滿	以上
常緑針 葉樹林	暖温帯針葉樹林	イヌマキ群落		イヌマキ群落	1920.3	1	1	0
	岩角地・海岸断崖地針葉樹林	アカマツ群落		アカマツ群落(VI)	662291.1	9	9	0
	常緑針葉樹二次林	アカマツ群落	モチツツジ-アカマツ群集	モチツツジ-アカマツ群集	13992770.5	195	187	8
	植林地	アカマツ植林		アカマツ植林	58344.8	1	1	0
		クロマツ植林		クロマツ植林	753300.5	18	17	1
	スギ・ヒノキ・サワラ植林		スギ・ヒノキ・サワラ植林	27812105.6	258	236	22	
落葉広 葉樹林	落葉広葉樹林	ケヤキ群落	ケヤキ-ムクノキ群集	ケヤキ-ムクノキ群集	38213.5	4	4	0
		コナラ群落	アベマキ-コナラ群集	アベマキ-コナラ群集	83890364.8	1154	1094	60
	落葉広葉樹二次林	アカメガシワ-カラスザンショウ群落		アカメガシワ-カラスザンショウ群落	9143595.1	226	225	1
	耕作地	果樹園		果樹園	9404378.6	289	288	1
常緑広 葉樹林		ビャクシン群落	ハマヒサカキ-ビャクシン群落	ハマヒサカキ-ビャクシン群落	6424.3	1	1	0
	海岸風衝低木群落	ウバメガシ群落	トベラー-ウバメガシ群集	トベラー-ウバメガシ群集	2801014.6	46	46	0
	常緑広葉樹林	アカガシ群落		アカガシ群落	50138.8	2	2	0
		コジイ群落	カナメモチ-コジイ群集	カナメモチ-コジイ群集	1710306.5	52	51	1
		スダジイ群落	ミズハイ-スダジイ群集	ミズハイ-スダジイ群集	61912.3	4	4	0
		その他植林(常緑広葉樹)	クスノキ植林	クスノキ植林	15791.0	1	1	0
	常緑広葉樹二次林	ウバメガシ二次林		ウバメガシ二次林	84201903.2	1523	1456	67
	シイ・カシ二次林		シイ・カシ二次林	78080540.1	720	657	63	
	竹林		竹林	26607882.3	1355	1351	4	
農地		ヨシクラス		ヨシクラス	130473.6	4	4	0
		河川敷砂礫地植生	ツルヨシ群集	ツルヨシ群集	277751.0	4	4	0
				河川敷砂礫地植生	271255.4	2	2	0
	二次草原	ススキ群団		ススキ群団(VII)	2012098.7	85	85	0
		放棄水田雑草群落		放棄水田雑草群落	2193002.3	117	117	0
		水田雑草群落		水田雑草群落	153815822.9	532	469	63
		畑雑草群落		畑雑草群落	6133015.7	183	181	2
	低木群落	クス群落		クス群落	189079.8	7	7	0
		路傍・空地雑草群落		路傍・空地雑草群落	8000431.6	179	174	5
	牧草地・ゴルフ場・芝地	ゴルフ場・芝地		ゴルフ場・芝地	1930095.5	23	20	3
		牧草地		牧草地	274912.5	5	5	0
	砂丘植生 (空白)		砂丘植生	662926.5	27	27	0	
	伐採跡地群落 (空白)		伐採跡地群落(VII)	2859230.0	84	83	1	
都市域		残存・植栽樹群をもった公園、墓地等		残存・植栽樹群をもった公園、墓地等	508607.8	3	2	1
		市街地	緑の多い住宅地	緑の多い住宅地	33448921.5	671	651	20
				市街地	20834784.6	165	142	23
		工場地帯		工場地帯	1554601.4	53	52	1
水域		造成地		造成地	7664003.0	139	133	6
	市街地等	開放水域		開放水域	9495136.8	1149	1149	0
	湿原・河川・池沼植生	ヒルムシロクラス		ヒルムシロクラス	220135.5	41	41	0
その他		ダンテク群落		ダンテク群落	24299.8	4	4	0
		自然裸地		自然裸地	2261741.9	114	114	0
		外国産樹種植林		外国産樹種植林	90211.4	5	5	0
		その他植林		その他植林	548986.6	19	19	0

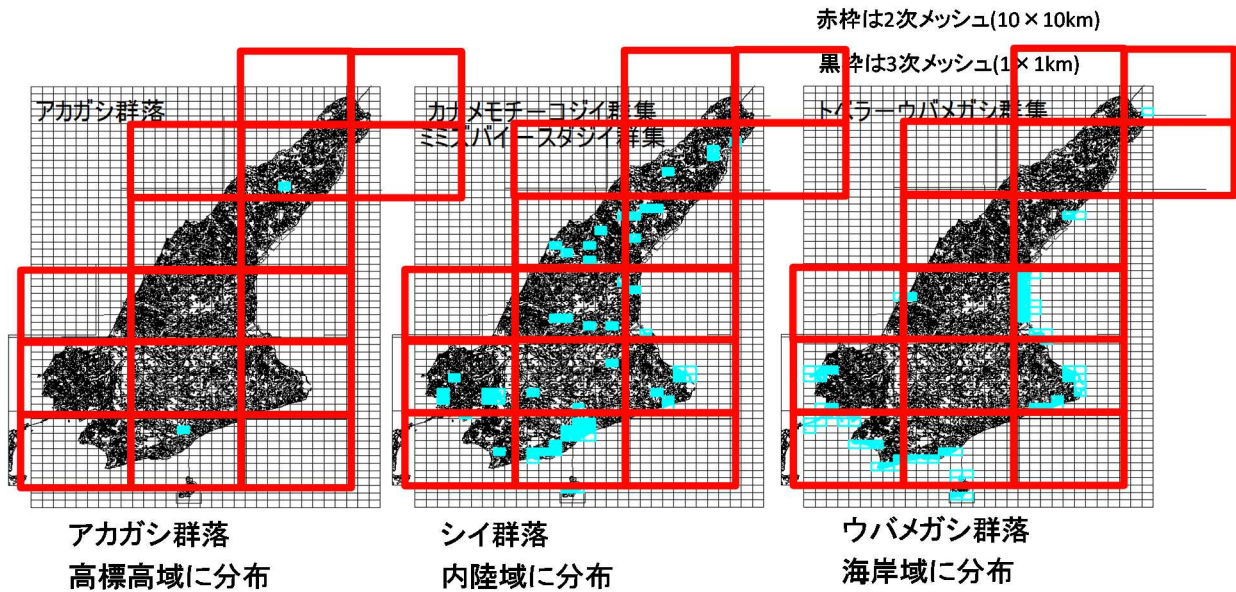
2014年のMODIS植生分類では西日本の常緑広葉樹林は4タイプに区分された(図(5)-4)。2.5万分の1現存植生図の凡例分布をもとに検討した結果、タイプAはアカガシ群落、ウバメガシ群落の分布域と重なり、さらにスダジイ群落またはコジイ群落の分布域とも広く重なることが示された(図(5)-5)。

一方、タイプBはタブノキ群落の分布域との重なりが認められた。高標高域にアカガシ群落、沿岸部に広くウバメガシ群落、タブノキ群落も沿岸部に分布しており、2014年MODISデータによる植生分類図である程度示されそうであった。人為的攪乱による消失を除くとこれらの自然林の分布域の変化率は小さい。したがって出現率が高く、分布域が異なる群落の分布図と衛星画像とのオーバーレイにより、予測値ではなく、現地データを基にした高時間分解能かつ生物多様性にも対応する国土レベルの植生図につながると考えられた。

3次メッシュでの出現植生と優占植生



図(5)-1 詳細スケールでの環境省2.5万分の1植生図の各森林タイプの3次メッシュでの分布状況



図(5)-2 詳細スケールでの環境省2.5万分の1植生図の常緑自然林の3次メッシュでの分布状況

表(5)-2 2.5万分の1植生図の主な常緑広葉樹林群落（出現2次メッシュ数と出現率）

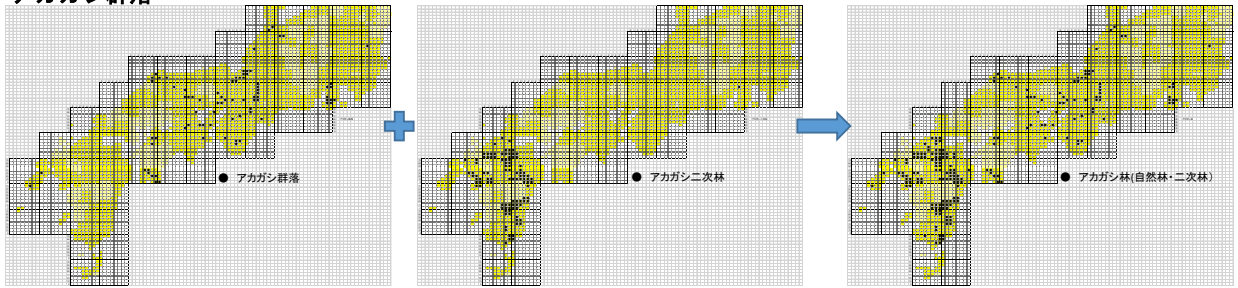
2.5万分1植生図凡例	出現2次メッシュ				2.5万分1植生図凡例	出現2次メッシュ			
	西日本 (園化範囲以南)		全国			西日本 (園化範囲以南)		全国	
	メッシュ数	出現率 (%)	メッシュ数	出現率 (%)		メッシュ数	出現率 (%)	メッシュ数	出現率 (%)
アカガシ群落					スタジイ・コジイ群落				
アカガシ群落	79	(3.83)	82	(2.70)	ヤブコウジースタジイ群集	274	(13.28)	304	(10.02)
ミヤマシキミーアカガシ群集	67	(3.25)	67	(2.21)	ミズバイースタジイ群集	222	(10.76)	222	(7.31)
アラカシ群落					カナモチーコジイ群集	221	(10.71)	221	(7.28)
アラカシ群落	273	(13.23)	273	(9.00)	スタジイ群落	85	(4.12)	85	(2.80)
ナンテンーアラカシ群集	13	(0.63)	13	(0.43)	ホソバカナワラビースタジイ群集	69	(3.34)	69	(2.27)
ウラジロガシ群落					コジイ群落	35	(1.70)	35	(1.15)
ウラジロガシ群落	144	(6.98)	150	(4.94)	サカキーコジイ群集	22	(1.07)	22	(0.72)
イスノキーウラジロガシ群集	118	(5.72)	118	(3.89)	オオシマカンスゲースタジイ群集	14	(0.68)	14	(0.46)
ヒメアオキーウラジロガシ群集	11	(0.53)	20	(0.66)	ヤクシマアジサイースタジイ群集	10	(0.48)	10	(0.33)
シラカシ群落					タブノキ群落				
シラカシ群集	94	(4.55)	101	(3.33)	タブノキ群落	98	(4.75)	118	(3.89)
シラカシ群落	77	(3.73)	79	(2.60)	イノテータブノキ群集	79	(3.83)	114	(3.76)
イチイガシ群落					ムサシアブミータブノキ群集	73	(3.54)	73	(2.41)
ルリミノキーイチイガシ群集	78	(3.78)	78	(2.57)	アコウータブノキ群落	18	(0.87)	18	(0.59)
イチイガシ群落	9	(0.44)	9	(0.30)	ハクサンボクータブノキ群落	7	(0.34)	7	(0.23)
シリブカガシ群落					ヤブコウジータブノキ群落	2	(0.10)	2	(0.07)
シリブカガシ群落	9	(0.44)	9	(0.30)	ハドノキータブノキ群落	1	(0.05)	1	(0.03)
ツクバネガシ群落					ウバメガシ群落				
ツクバネガシ群落	35	(1.70)	35	(1.15)	トベラーウバメガシ群集	224	(10.85)	224	(7.38)
ツクバネガシーシラカシ群集	9	(0.44)	9	(0.30)	ウバメガシ群落(常緑広葉樹林)	29	(1.41)	29	(0.96)
ハナガシ群落									
ハナガシ群落	7	(0.34)	7	(0.23)					
対象メッシュ数	2064		3035		対象メッシュ数	2064		3035	

表(5)-3 各常緑広葉樹林群落（自然林）の2次メッシュレベルの共存率。
(A群落(縦列)の出現メッシュにおけるB群落(横行)の出現率)

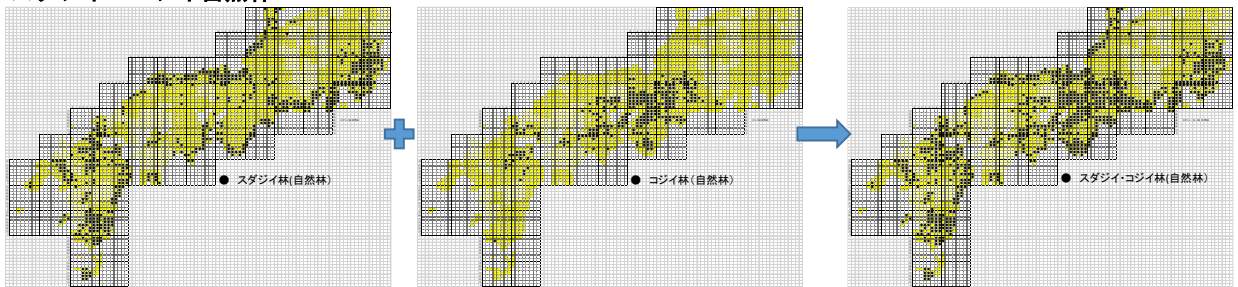
	スタジイ・コジイ群落	タブノキ群落	アラカシ群落	ウラジロガシ群落	ウバメガシ群落	シラカシ群落	アカガシ群落	イチイガシ群落	ツクバネガシ群落	ハナガシ群落
スタジイ・コジイ群落	100.0	20.3	20.2	16.9	18.0	8.9	14.7	6.3	3.3	0.2
タブノキ群落	59.3	100.0	5.1	12.1	16.5	7.1	11.1	2.7	1.0	0.0
アラカシ群落	62.5	5.4	100.0	24.3	8.6	14.6	20.4	11.1	7.5	0.0
ウラジロガシ群落	51.0	12.5	23.6	100.0	12.2	9.0	31.3	16.0	4.9	1.4
ウバメガシ群落	52.0	16.3	8.0	11.7	100.0	1.7	8.7	2.0	1.7	0.0
シラカシ群落	42.8	11.7	22.8	14.4	2.8	100.0	6.1	2.2	7.8	0.0
アカガシ群落	61.2	15.8	27.3	43.1	12.4	5.3	100.0	16.3	3.3	1.0
イチイガシ群落	64.7	9.4	36.5	54.1	7.1	4.7	40.0	100.0	8.2	7.1
ツクバネガシ群落	65.9	6.8	47.7	31.8	11.4	31.8	15.9	15.9	100.0	0.0
ハナガシ群落	28.6	0.0	0.0	57.1	0.0	0.0	28.6	85.7	0.0	100.0

表(5)-3に各常緑広葉樹林群落（自然林）の2次メッシュレベルの共存率を示した。スタジイ・コジイ群落が出現するメッシュにタブノキ群落およびアラカシ群落は20%以上の割合で出現していた。タブノキ群落出現メッシュにおいては、59%のメッシュでスタジイ・コジイ群落も出現していたが、それ以外ではウバメガシ群落が16.5%の出現であった。ウバメガシ群落出現メッシュにおいてスタジイ・コジイ群落は52%の出現であったが、それ以外ではタブノキ群落の16.3%の出現であった。アカガシ群落出現メッシュにおいては61%でスタジイ・コジイ群落が出現し、ウラジロガシ群落も43.1%、アラカシ群落が27.3%の出現であった。スタジイ・コジイ群落は広く同所的に分布するものの、タブノキ群落、ウバメガシ群落は比較的に特異的な分布をしていると考えられた。アカガシ群落はウラジロガシ群落やアラカシ群落と同所的な分布をし、高標高域のカシ群落として示される可能性が考えられた。

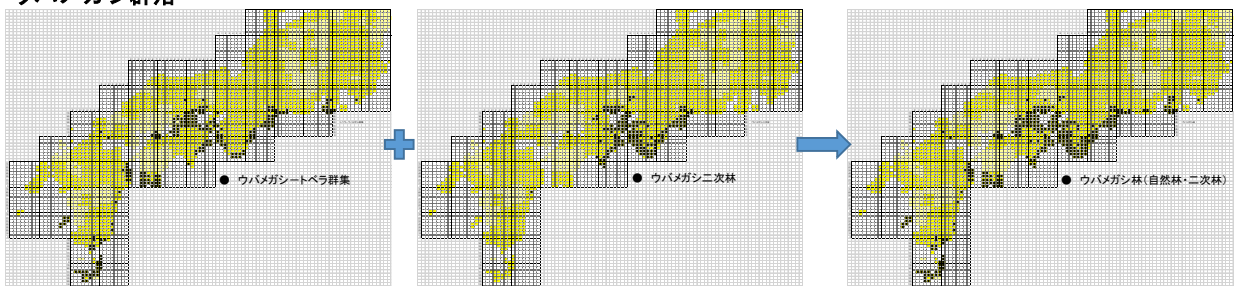
アカガシ群落



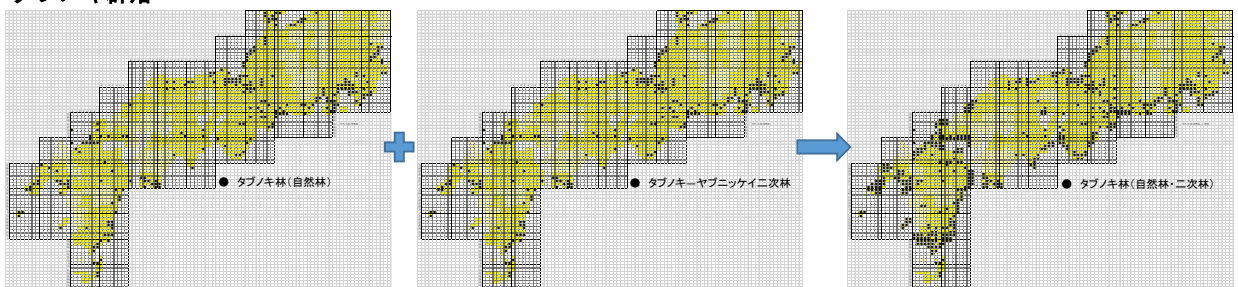
スダジイ、コジイ自然林



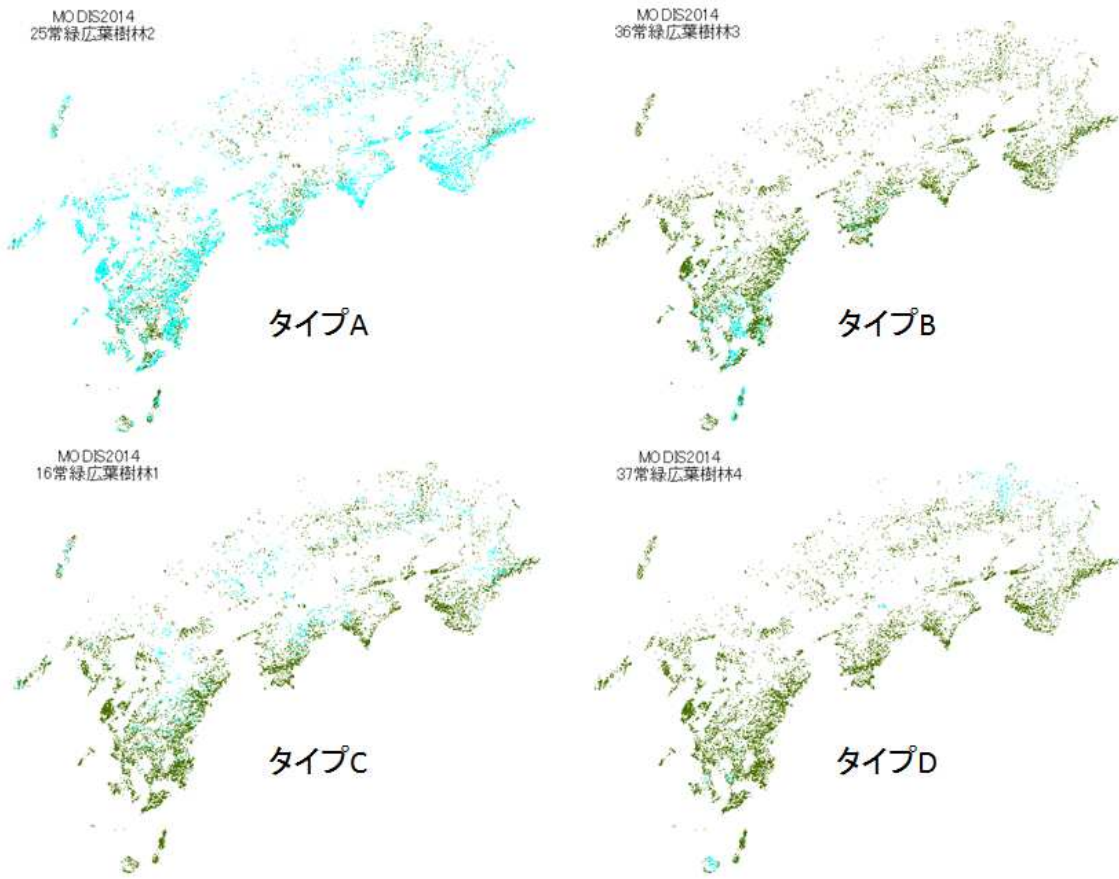
ウバメガシ群落



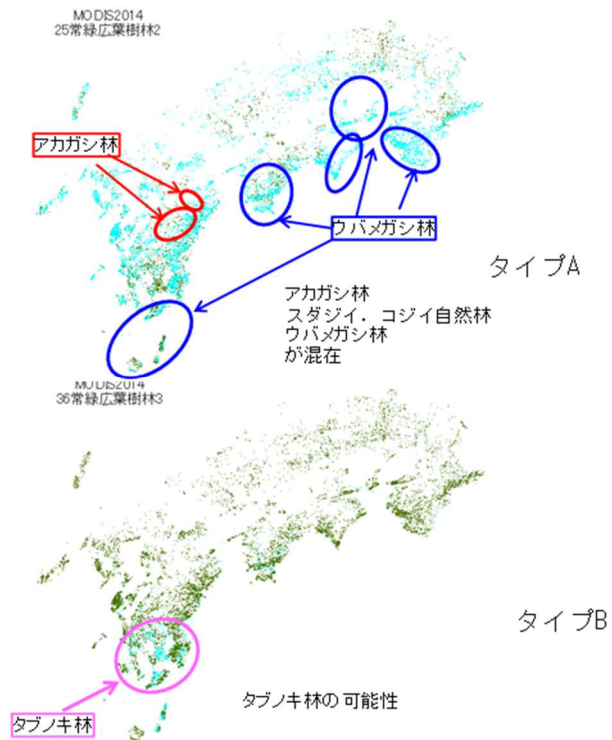
タブノキ群落



図(5)-3 環境省2.5万分の1植生図の2次メッシュ別の出現凡例の分布。●：分布。－：分布なし。空白：未整備。



図(5)-4 2014年MODISデータによる植生現況図で区分された常緑広葉樹林4タイプ



図(5)-5 MODIS（2014年）による常緑広葉樹林2タイプ

日本の照葉樹林の群落体系やその分布限界に関しては服部・中西（1983）¹⁾、Hattori & Nakanishi（1985）²⁾にまとめられ、さらに服部ほか（1987）³⁾は、それらの構成種の地理的分布と現在の気候条件や最終氷期以降の気候変化との対応関係から現在の照葉樹林構成種の分布を過去の気候変化に対応した歴史植物地理的観点から考察した。現在の植生や構成種の分布は長期的な動的变化の一断面であり、位置情報を伴った種類組成データは重要であることは間違いない。一方、組成データから樹冠第一層の優占種による区分を行うと、樹冠層の優占種による植生判読も可能と考えられ、衛星画像植生図での対応の検討が必要となっている。

タブ林の分布と環境については服部（1992）⁴⁾、服部（1993）⁵⁾に示されている。服部（1992）⁴⁾によるとタブ林は最寒月の月平均気温が1℃から11℃までほぼ連続的に分布するが、海岸から300m以内の範囲に全地点の70%が集中しているとしており、沿岸という環境がタブ林成立の大きな条件であると述べている。また滋賀県のタブノキ林においては冬季季節風の影響のある地域に分布していることを述べている。服部（1993）⁵⁾では種類組成でタブ型林とされた森林において樹冠の第一優占種でまとめたところ、タブノキ優占林は約63%で、ホルトノキ優占林(約11%)、ヤブニッケイ優占林(約9%)、シロダモ優占林(約4%)、イヌマキ優占林(約4%)、モチノキ優占林(約3%)などタブノキが優占しないタブノキ型林があることを示している。また、ヤブニッケイ、シロダモ、モチノキ、ホルトノキなどの優占林の方が沿岸への集中度が高いことを述べている。したがって、衛星画像による植生図で判読できる可能性があるのは樹冠の第一優占種での区分でタブノキ優占林とされるものとなる。

服部（2014）⁶⁾では優占種による照葉樹林の分布とそれらの森林の特性をまとめており、タブノキ林、シイ林、カシ林（ウラジロガシ林、アカガシ林）の3つに大別している。このうちタブノキ林の地理的分布の中心はカシ林やシイ林と比較して沿岸部にあり、その分布要因は潮風条件の有無にあると述べている。タブノキの生育地として「斜面下部の適湿な土壌条件」とされるのは間違いであると述べている。このように地形的条件ではなく地理的条件が分布を規定しているとすると広域植生図でも表現できる可能性はあると考えられた。図(5)-5の一部でタブノキ林との一致も見られたことが、海岸域という条件であったと考えられる。しかし広域で示すことはできず、衛星植生図で区分できるほどには至らなかった。

温暖多湿な潮風の影響も受けない立地ではシイ属、アカガシ亜属、タブノキ、モチノキ、イヌノキといった照葉高木の混交する森林（スタジイ等混交林）が成立する。その混交林が潮風、伐採、低温というストレスを受けることによって、それらのストレスに耐えられない照葉高木種が欠落し、潮風域でタブノキ林、低温域のカシ林、攪乱域のシイ林の単純林が成立するとしている。本研究においてタブノキ林、アカガシ林の分布に相当する常緑広葉樹林が示されたことは、このストレス環境下での純林を示したものと考えられるが、広域での区分には至らなかった。シイ林においては攪乱を受けた立地で純林が形成されるため特定は難しいと考えられた。

Kシイ林においては攪乱を受けた立地（1988）⁷⁾は、植生図は、人為による影響による植生変化の方向や速度を知る重要な参照物であると述べ、すでにGISやリモートセンシングにも言及、している。その後技術的な発展により現在に至っており、植生図の人為の変化のモニターとしての役割はますます重要となっている。Alexander & Millington（2000）⁸⁾においては特にスケールに着目した植生図化が取り扱われている。Pedrotti（2013）⁹⁾では個体からバイオームまでのレベル、種から植生帯までの単位、植物生態学から地球規模の植物気候学までの地図タイプに整理し、フロラ

的図化、植生図化、植物地理学的図化に区分している。植物社会学的群集を単位とした植生図は中間的空間スケールであり、どちらにもつなげることができる重要な地図であると考えられる。衛星による地図化は大規模化につながるものであるが、小規模地図への連続のためにも群集単位を加味したものであることが望まれる。リモートセンシングによる植生図化の技術的發展やその応用は進んでおり（Rutchev & Godin (2009)¹⁰⁾、村上・望月 (2014)¹¹⁾）、今回、東日本においてはHarada et al. (2015)¹²⁾、Sharma et al. (2016)¹³⁾などの成果が認められたが、西日本の常緑広葉樹林域での群集単位と衛星植生図の対応解析を試みた結果においては、樹冠層の優占種に一部対応の可能性が見られたものの広域への汎用までには至らなかった。これは人為的影響が長く大きい植生単位が細かいことおよび落葉広葉樹林ほどのフェノロジーの変化がないことに起因すると考えられた。しかし、地域をより細かく区切った解析等によりさらなる対応の可能性は否定できない。補完するスケールの植生図化の検討を行う必要があると考えられた。

5. 本研究開発により得られた成果

(1) 科学的意義

西日本の主要構成タイプである常緑広葉樹林は、生態的に分布域が異なるものもあり、MODISスケールのリモートセンシングでも一部分布特性が示されてはいるが、完全に識別することは困難であった。

理由としては2.5万分の1植生図では分布特性が示されるものの、一つ一つのパッチが小さく、MODISで示される空間的解像度との違いであると考えられた。また、ブナとミズナラほどのフェノロジーの差異はなく、区分は難しいと考えられた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

地域レベルでの具体的な土地利用計画や保全管理計画には2.5万分の1植生図を積極的に活用していくこと、ならびに国レベルでの生物多様性把握には2.5万分の1植生図が基礎とし、広域レベルのMODIS植生分類図の併用が望まれる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) I. Harada, K. Hara, J. Park, I. Asanuma, M. Tomita, D. Hasegawa and M. Fujihara: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-7/W3,

403-408 (2015).

“Monitoring of rapid land cover changes in eastern Japan using Terra/MODIS data.”

- 2) R. C. Sharma, K. Hara, H. Hirayama, I. Harada, D. Hasegawa, M. Tomita, J. Park, I. Asanuma, K. M. Short, M. Hara, Y. Hirabuki, M. Fujihara, R. Tateishi: *Advances in Remote Sensing*, 6, 1, 54-65 (2017).

“Production of Multi-features Driven Nationwide Vegetation Physiognomic Map and Comparison to MODIS Land Cover Type product.”

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) M. Fujihara, K. Ito, I. Harada, M. Tomita, and K. Hara: The 57th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Perth, Australia, September 2014
“Assessment of the dynamics of vegetation boundaries as depicted by vegetation mapping based on aerial photographs and satellite remote sensing.”
- 2) 藤原道郎、伊藤休一：植生学会第19回大会（2014年10月）
「変化の著しい植生域における植生図化に関する研究—変化の著しい隣接群落境界に関する研究—」
- 3) 原田一平、原慶太郎、朴鍾杰、浅沼市男、富田瑞樹、長谷川大輔、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：日本リモートセンシング学会第57回学術講演会（2014年11月）
「Terra/MODISを用いた日本における植生図化手法の開発」
- 4) 藤原道郎、伊藤休一、原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、原正利、平吹喜彦：日本生態学会第62回全国大会（2015年3月）
「衛星リモートセンシングによる植生図化のための2.5万分の1植生図凡例の検討」
- 5) I. Harada, K. Hara, J. Park, I. Asanuma, M. Tomita, D. Hasegawa and M. Fujihara: The 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Berlin, Germany, May 2015
“Monitoring of rapid land cover changes in eastern Japan using Terra/MODIS data.”
- 6) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：日本景観生態学会第25回全国大会北九州大会（2015年6月）
「生物多様性評価のための衛星リモートセンシングによる広域スケール植生現況図作成」
- 7) 藤原道郎、伊藤休一：日本景観生態学会第25回全国大会北九州大会（2015年6月）
「2.5万分の1植生図を用いた竹林分布と隣接植生の検討および竹の利活用への応用」
- 8) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：植生学会第20回大会（2015年10月）
「衛星リモートセンシングデータを用いた広域スケール植生図化手法の開発」

- 9) 藤原道郎、伊藤休一、原田一平、原慶太郎、富田瑞樹：植生学会第20回大会（2015年10月）
「広域植生図における詳細植生図の情報」
- 10) 原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：日本リモートセンシング学会第59回学術講演会（2015年11月）
「Terra/MODISを用いた日本における植生図化手法の開発（その2）」
- 11) 原田一平、原慶太郎、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：第16回自然環境復元学会全国大会（2016年2月）
「Terra/MODIS を用いた日本における広葉樹林の分布について」
- 12) 原慶太郎、原田一平、富田瑞樹、朴鍾杰、長谷川大輔、浅沼市男、原正利、平吹喜彦、藤原道郎：第63回日本生態学会大会（2016年3月）
「生物多様性評価のためのMODISデータによる日本全土の植生現況図作成」
- 13) 藤原道郎、原田一平、原慶太郎、富田瑞樹：日本景観生態学会第26回全国大会北海道大会（2016年7月）
「組成を基にした植生図の凡例を活かした広域植生図の検討」
- 14) M. Fujihara, K. Ito, I. Harada, K. Hara, M. Tomita: The 5th International EcoSummit Congress, Montpellier, France, August 2016
“Comparison of vegetation type and its distribution derived from vegetation mapping based on phytosociology and satellite remote sensing.”

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) Webページによる公開（2015年6月20日、<http://negis.tuis.ac.jp/kenkyu11405/>）

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 服部保, 中西哲, 1983. 日本の照葉樹林の群落体系について, 神戸大学教育学部研究収録大71集, pp. 123-157.
- 2) T. Hattori, S. Nakanishi, 1985. On the distributional Lucidophyllous forest in the Japanese Archipelago, Bot. Mag. Tokyo, 98, pp. 317-333.
- 3) 服部保, 中西哲, 武田義明, 1987. 近畿地方における照葉樹林主要構成種の地理的分布, 特に後氷期の分布拡大について, 日本生態学会誌, 37, pp. 1-10.
- 4) 服部保, 1992. タブノキ型林の群落生態学的研究 : I. タブノキ林の地理的分布と環境, 日本生

- 態学会誌, 42, pp. 215-230.
- 5) 服部保, 1993. タブノキ型林の群落生態学的研究 : I. タブノキ型林の地理的分布と立地条件, 日本生態学会誌, 43, pp. 99-109.
 - 6) 服部保, 2014. 照葉樹林, 神戸群落生態研究会.
 - 7) A. W. Kuchler & I. S. Zonneveld, 1988. *Vegetation Mapping*, Kluwer Academic Publishers.
 - 8) R. Alexander & A. C. Millington, 2000. *Vegetation Mapping –From patch to planet -*, John Wiley & Sons, Ltd.
 - 9) F. Pedrotti, 2013. *Plant and Vegetation Mapping*, Spliger-Verlag.
 - 10) K. Rutchey & J. Godin, 2009. Determining an appropriate minimum mapping unit in vegetation mapping for ecosystem restoration: a case study from the Everglades, USA, *Landscape Ecology*, 24, pp. 1351-1362.
 - 11) 村上拓彦, 望月翔太, 2014. リモートセンシングによる植生マッピング, *景観生態学*, 14, pp. 233-242.
 - 12) I. Harada, K. Hara, J. Park, I. Asanuma, M. Tomita, D. Hasegawa, M. Fujihara, 2015. Monitoring of rapid land cover changes in eastern Japan using Terra/MODIS data, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-7/W3, pp. 403-408.
 - 13) R. C. Sharma, K. Hara, H. Hirayama, I. Harada, D. Hasegawa, M. Tomita, J. Park, I. Asanuma, K. M. Short, M. Hara, Y. Hirabuki, M. Fujihara, R. Tateishi, 2017. Production of Multi-features Driven Nationwide Vegetation Physiognomic Map and Comparison to MODIS Land Cover Type product, *Advances in Remote Sensing*, 6, 1, pp. 54-65.

Development of Satellite Remote Sensing Methods for Broad Scale Estimation and Monitoring of Biodiversity

Principal Investigator: Keitarou HARA

Institution: Faculty of Informatics, Tokyo University of Information Sciences,
4-1 Onaridai, Wakaba-ku, Chiba, 265-8501, JAPAN
Tel/Fax: +81-43-236-4628
E-mail: hara@rsch.tuis.ac.jp

Cooperation: Tohoku Gakuin University, University of Hyogo,
Natural History Museum and Institute, Chiba

[Abstract]

Key Words: Biodiversity, Remote sensing, MODIS, Land-cover, Vegetation map, Monitoring, Prediction of habitats, Great East Japan Earthquake

Conservation of biodiversity requires timely, accurate monitoring and evaluation at the regional level. Vegetation, land use and land cover maps are useful indicators of environmental conditions, but consume enormous amounts of time and effort to update. In Japan, for example, the Ministry of Environment started updating the national level vegetation maps in 2000, but by March of 2017 only 79% of the total land area had been mapped. Remote sensing using satellite data enables timely extraction of land cover over a wide area, and as such is a useful tool for monitoring biodiversity at various scales. This research project focused on vegetation as an indicator of biodiversity, and utilized remotely sensed data to map Japan's vegetation at the national scale. In addition, systems for timely updating these maps, as well as for predicting future changes in vegetation, were developed.

The research employed MOD09 (500m spatial resolution) and MOD03 data acquired at Tokyo University of Information Science. Monthly composite data was compiled and utilized to remove the effects of cloud cover. Image data (Surface Reflectance Bands 1-7, NDVI, RVI factored by the cloud cover) were produced and analyzed. First, the August NDVI and threshold (0.35) data were used to distinguish Vegetated Land from Non-vegetated Land. Next, Non-hierarchical Clustering Analyses, adopting the ISODATA method, was utilized to distinguish a total of 40 categories of Vegetated Land and 10 of Non-vegetated Land. These were later collapsed into nine classes: Alpine Vegetation, Evergreen Coniferous Forest, Deciduous Broad-leaved Forest, Evergreen Broad-leaved Forest, Mixed Broad-leaved/Coniferous Forest, Grassland, Farmland (including both irrigated rice paddies and non-irrigated fields), Urban Area and

Waterway. The classification also allowed for separation of Beach Forest and Oak Forest within the Deciduous Broad-leaved Forest class. The results showed extensive natural forests in the Tohoku Region of northern Honshu, but analysis of future changes in vegetation predicted that the Beech Forests will lose ground due to global warming. Ecological changes caused by the Great East Japan Earthquake of 2011 and subsequent tsunami can also be seen in this area.

Ground truth was established by comparing the classification results with extant vegetation maps. This research clearly showed that classification and analyses of remotely sensed data is capable of producing detailed and accurate vegetation maps at a very wide scale, and of updating these maps in a timely fashion.