

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

研究代表者：東京情報大学 原慶太郎

実施期間：平成26年度～平成28年度

累積予算額：78,061千円



研究の背景

- 生物多様性の保全には、地域ごとの生物多様性の迅速かつ的確なモニタリング・評価が不可欠
- 生物多様性総合評価 (JBO 2010) や生物多様性評価地図 (2012) では、日本全土の土地利用データとして、第2, 3回自然環境保全基礎調査 (1979-1986) や第5回自然環境保全基礎調査 (1994 -1998) が使用
- 生物多様性の評価には、「生物多様性そのもの」と「生物多様性に影響をあたえる要因」の両者を把握することが必要で、これらの空間分布を示す土地利用・土地被覆図 (LU/LC) や植生図は重要
- 広域的な土地被覆の把握には衛星リモートセンシングが優れている
- 日本全土を対象とする広域的モニタリングには Terra/MODIS (2000-) が適している

- 生物多様性を反映した地図作成 (植生図や土地利用・土地被覆図) は生物保全における主な目標の一つ (Myers *et al.*, 2000)

研究の概要と達成目標

- 環境省自然環境保全調査の補完として、MODIS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
- 代表的な植生域で衛星データの解析結果と現地データとを照合し、解析結果の高精度化を図る
- 環境変動が大きい箇所として、2011年の東日本大震災被災地を対象地とし、震災前後及びその後の土地被覆動態を詳細に解析して解析手法にフィードバック
- 自然環境基礎調査1/2.5万植生図との照合とともに分類クラスを検討
- シナリオ分析による植生の将来予測



生物多様性保全施策立案に有用なデータ・知見を提示₃

研究体制

サブテーマ1: 土地被覆解析結果の検証と将来予測

東京情報大学 原慶太郎・富田瑞樹

サブテーマ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 浅沼市男・朴鍾杰・原田一平・長谷川大輔・
R.C. Sharma

サブテーマ3: 代表的植生域における現地検証

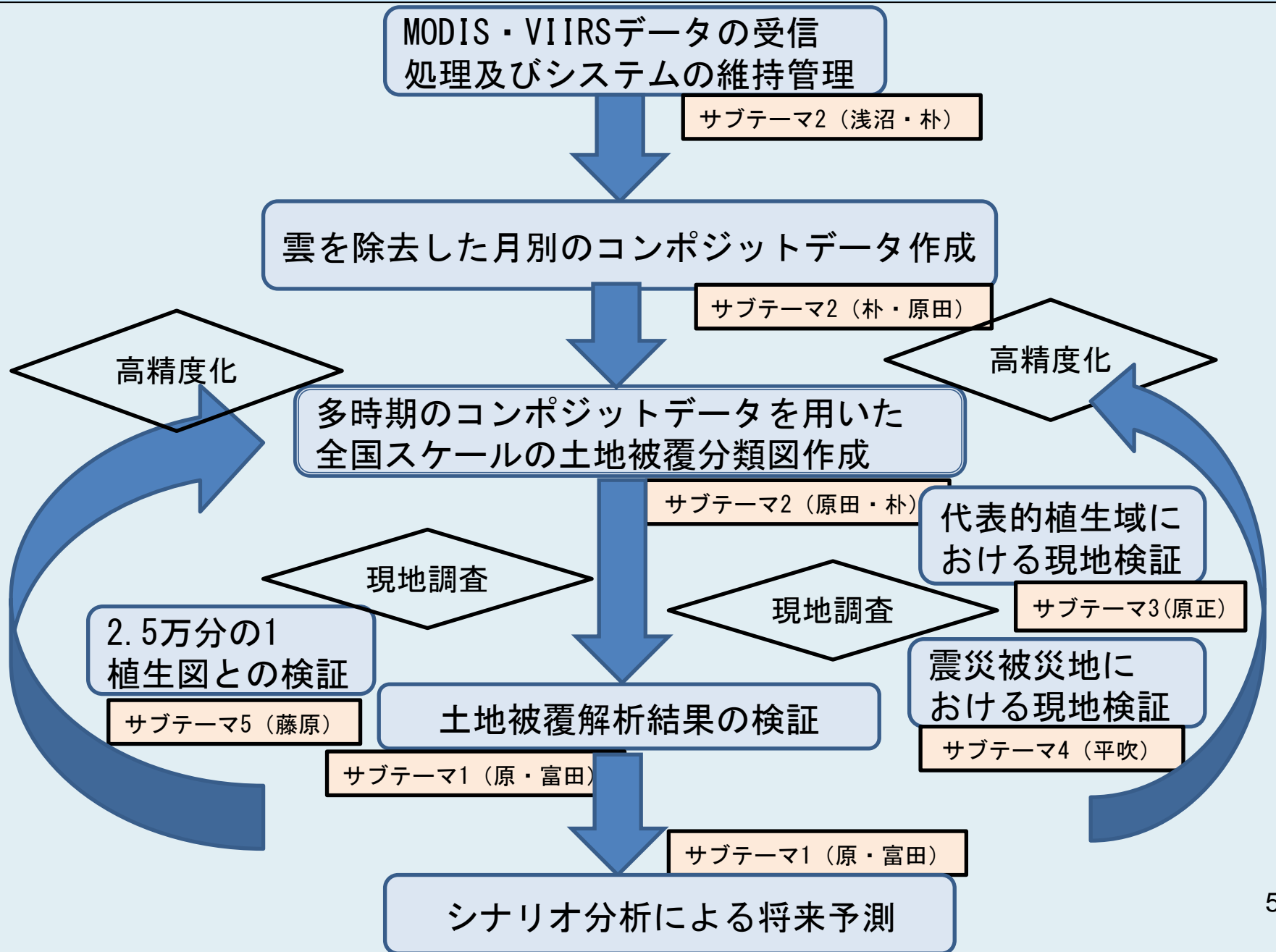
千葉県立中央博物館 原正利

サブテーマ4: 震災被災地における現地検証

東北学院大学 平吹喜彦

サブテーマ5: 2.5万分の1植生図との検証

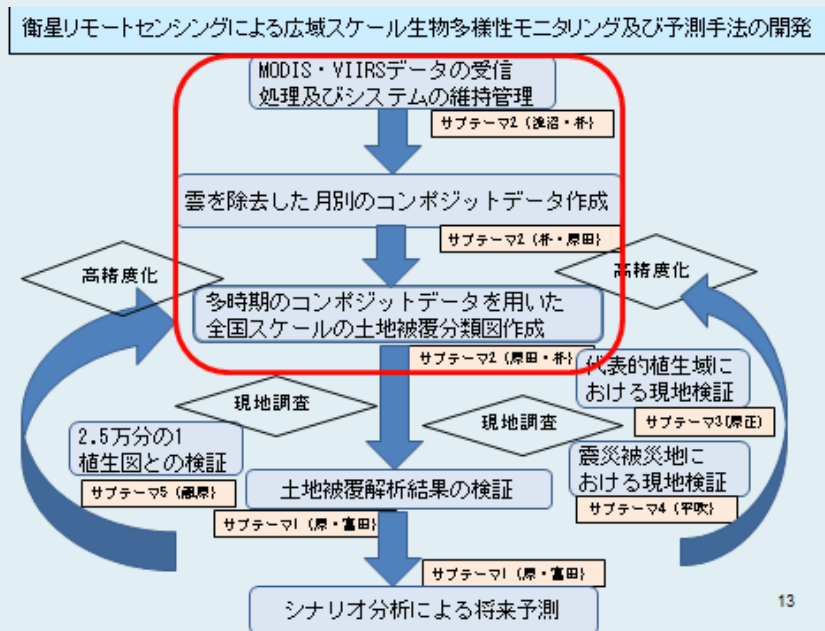
兵庫県立大学 藤原道郎



【サブテーマ2】

衛星データセットの作成手法と解析方法の開発

- ・月々のMODISデータを用いて雲を除去したコンポジットデータから日本全国をカバーできる土地被覆分類図作成手法を確立した
- ・雲の除去には White Index法（朴ほか, 2009）を適用し、植物フェノロジーの情報損失を少なくしたコンポジットデータを作成
- ・全国植生現況図を作成した



データセット作成

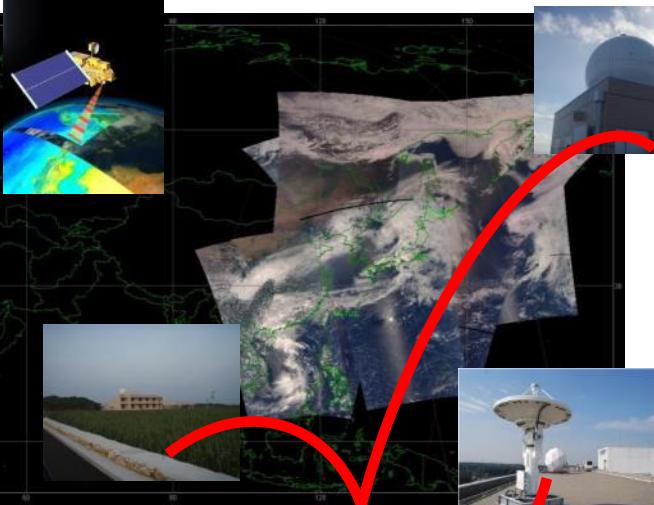
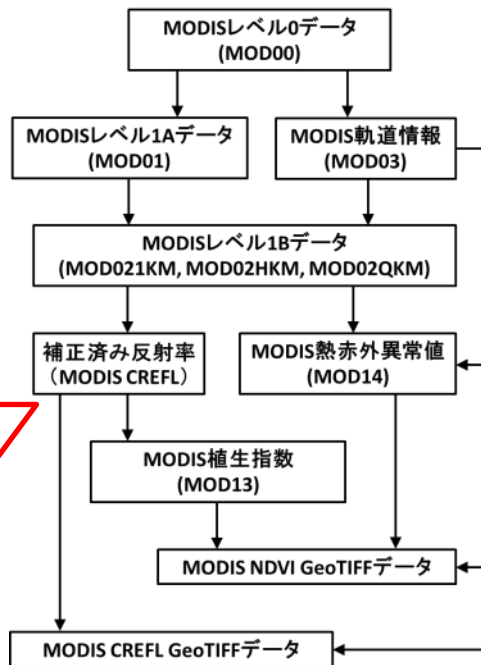
サイマルキャスト出力画像例
(日中の観測データを連続表示)

北海道 網走
東京農業大学
オホーツクキャンパス

MODIS受信データ処理
International Polar Orbiter
Processing Package (IPOPP)

受信

CREFL & MOD03
データセット整備



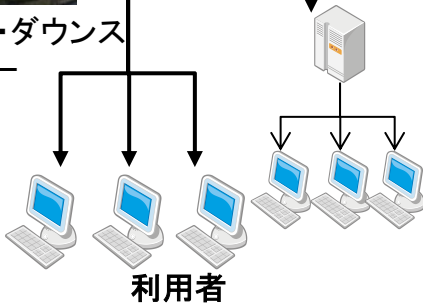
沖縄 宮古島
東京農業大学宮古垂熱帯農場

千葉
東京情報大学



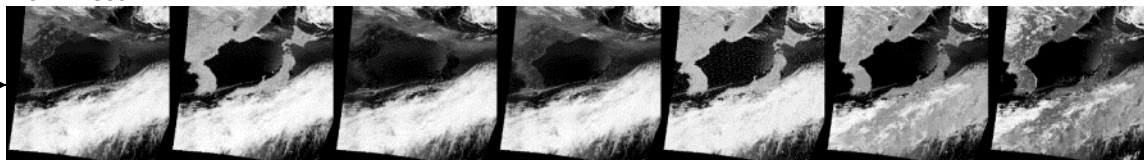
サイマルキャスト・
ダウンストリーム・
サーバー
@NASA

サイマルキャスト・ダウン
ストリーム・サーバー
@東京情報大学

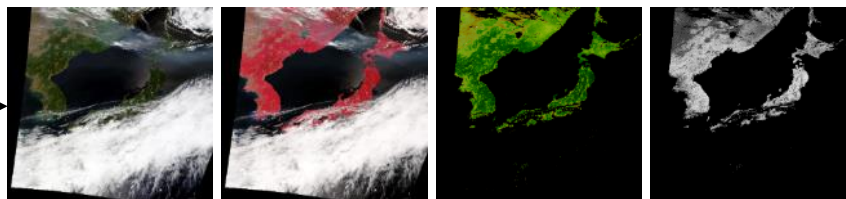


利用者

CREFL GeoTIFF



| 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 |



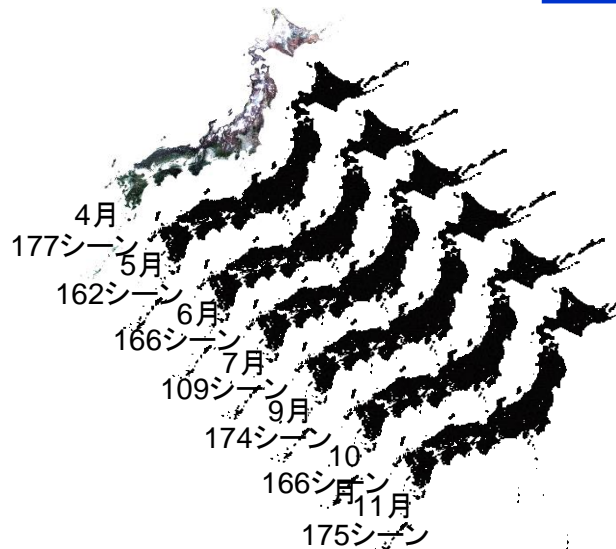
CREFL RGB:143
True Color

CREFL RGB:214
False Color

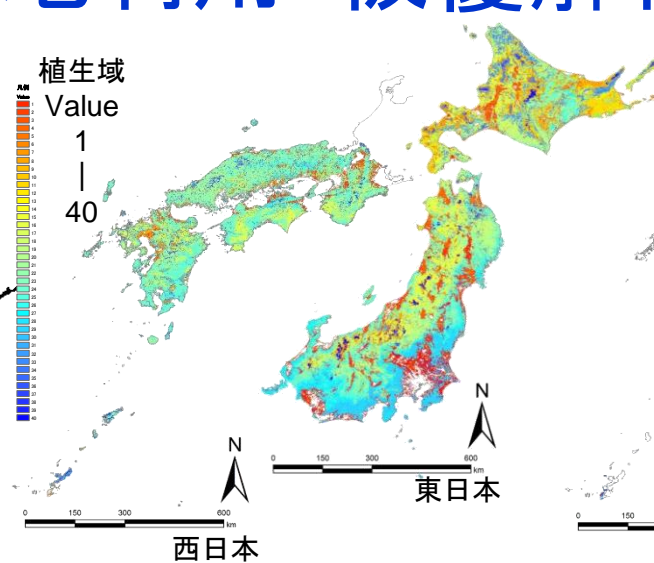
NDVI GeoTIFF
+NDVI JPEG

NDVI GeoTIFF
NDVI binary
0~255 (-0.1~1.0)

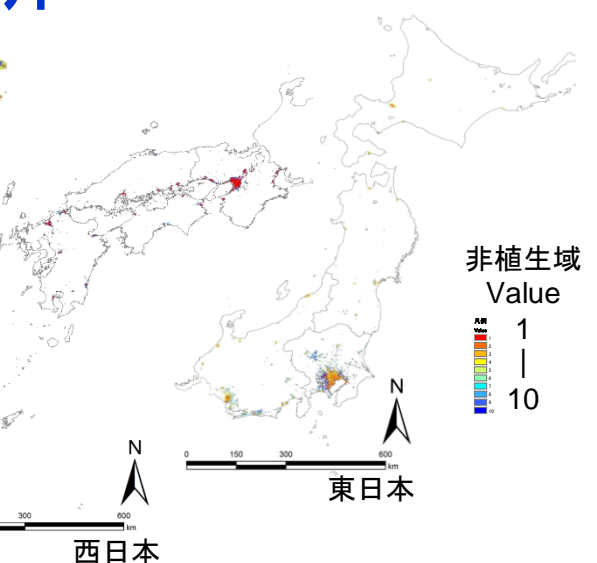
土地利用・被覆解析



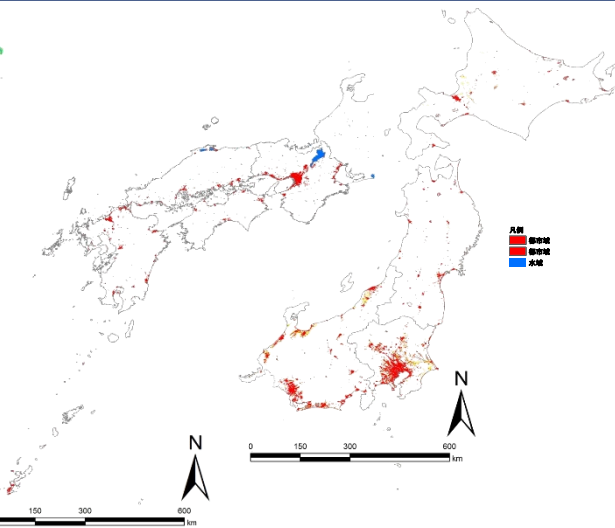
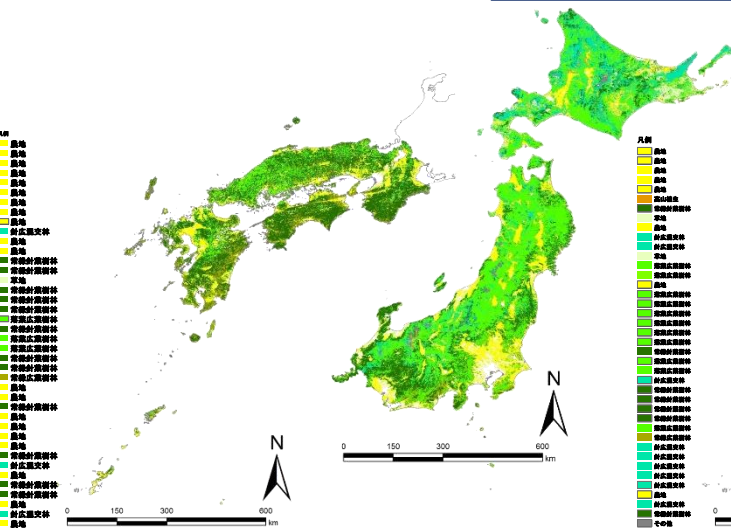
2014年のデータセットからノイズ除去
月別コンポジットデータ作成



夏季(8,9月)のNDVI閾値 (NDVI=0.35) より, 植生域 (40) と非植生域 (10) に区分



植生域と非植生域の月間合成画像作成 計63バンド: (Band1,2,3,4,5,6,7+NDVI+RVI) × 7ヶ月分



- ・水域マスク処理 (国土数値情報の湖沼GISデータ)
- ・ISODATA法 (植生域 (40) と非植生域 (10) のクラスに分類)
- ・Landsat 5-8の衛星画像データと既存植生図を用いてラベリング

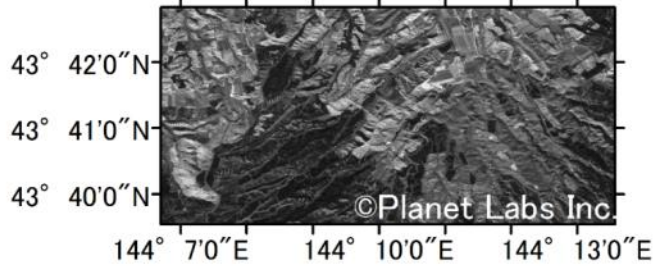
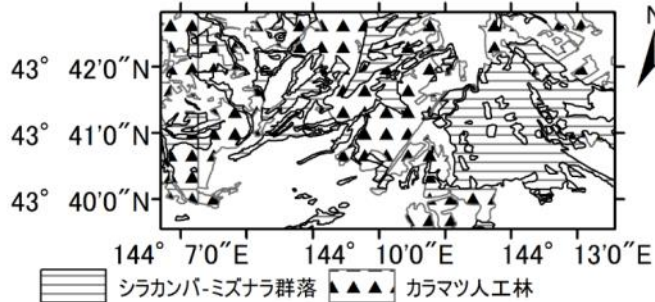
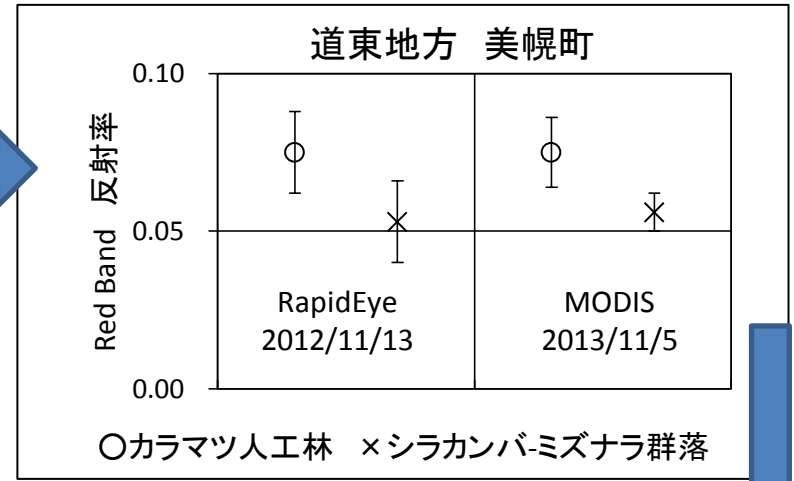
精度検証:
・2.5万分の1植生図 (全国整備中)

多時期のコンポジットデータを用いた東・西日本の土地被覆分類図作成

道東地方のカラマツ林と落葉広葉樹林のフェノロジーの差異検出(長谷川ほか, 2017)

・GRVI(植生指数) = $\frac{\text{Green} - \text{Red}}{\text{Green} + \text{Red}}$
 葉の色に応答し、**黄葉により赤の反射率が増大**

・NDWI(正規化水指数)
 葉の水分量に応答し、**落葉により減少**



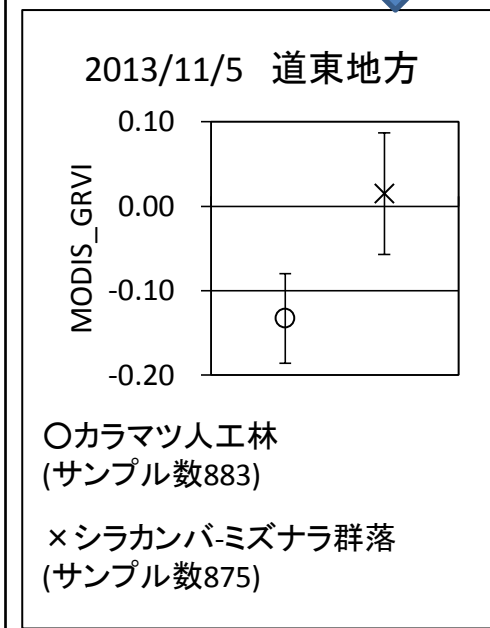
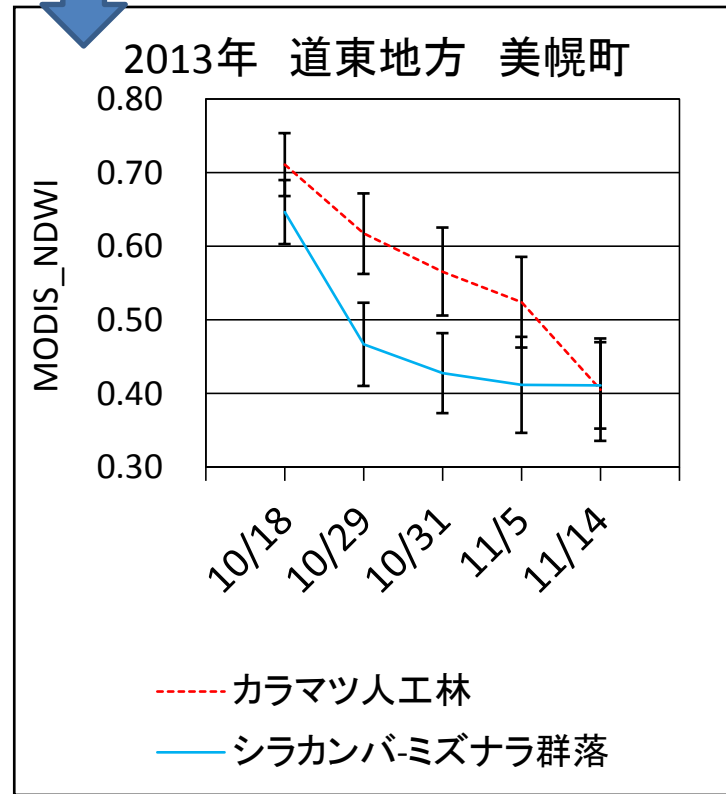
北海道 道東地方 美幌町

上: 1/2.5万植生図

下: 2012年11月13日RapidEye Red(赤) Band

カラマツ人工林 (サンプル数50)

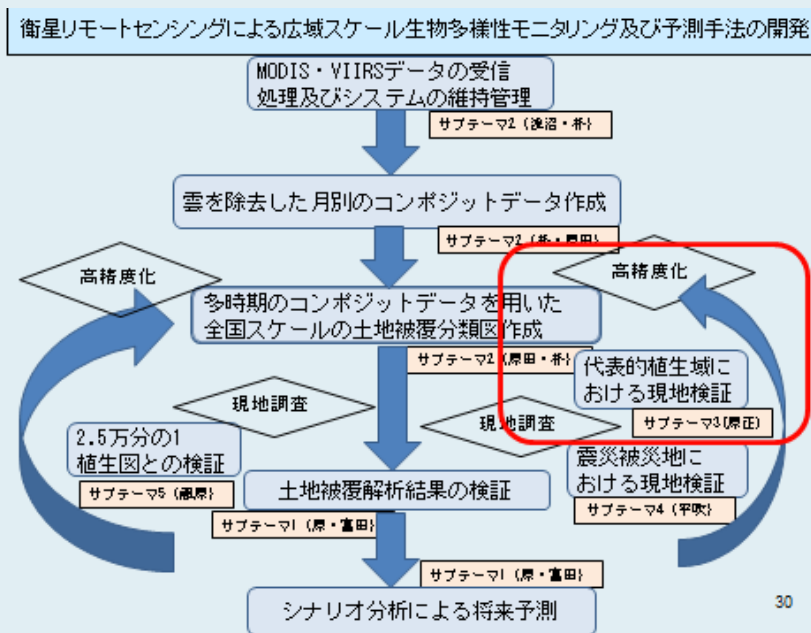
シラカンバ-ミズナラ群落 (サンプル数72)



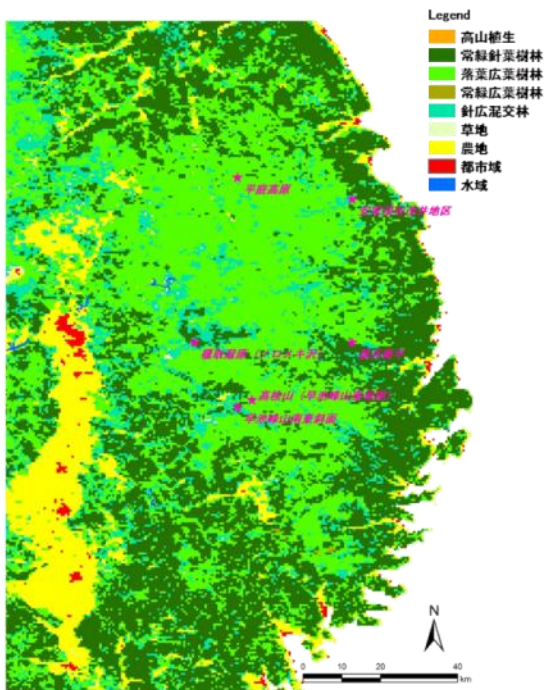
【サブテーマ3】

代表的植生域における現地検証

- ・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(現地検証)として相応しいテストサイトを設定した
- ・植生帯ごとに設けた代表的なテストサイトで、衛星リモートセンシングデータによる分類結果と現地踏査による結果を照合した



北上山地における現地検証



Terra/MODISデータ(解像度500m)を用いた
土地被覆図(2013年版)と現地調査地点



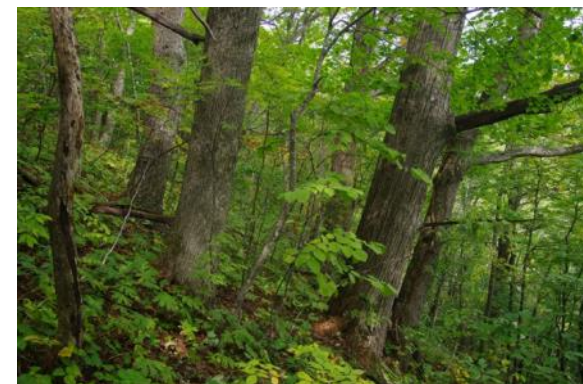
No.5 安家溪谷アカマツ天然林



No. 2 高桧山ブナ林



No.6 平庭高原ダケカンバ林



No.4 源兵衛平ミズナラ林

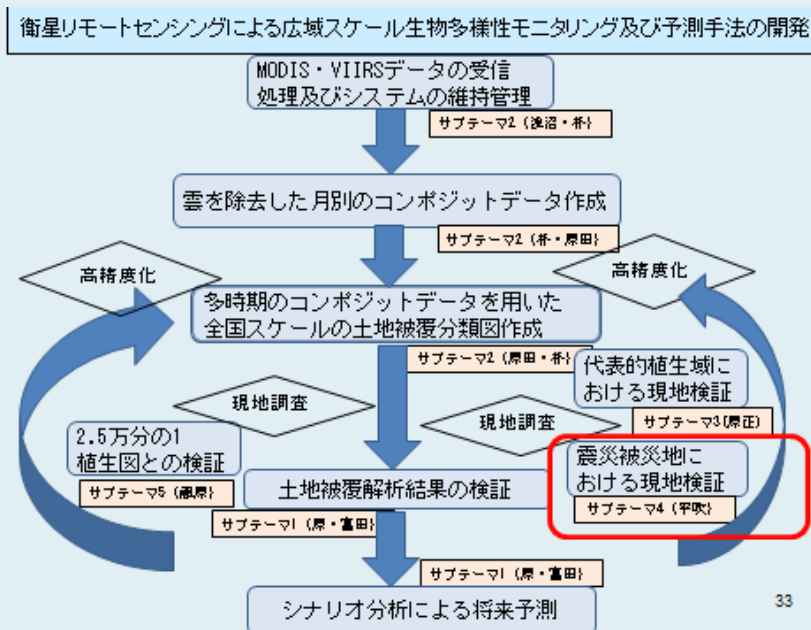
| No. | 調査箇所 | 所在地 | 海拔 (m) | 植生 |
|-----|---------------|---------|-----------|---|
| 1 | 権取温泉 (ノロメキ沢) | 岩泉町字釜津田 | 970-980 | ミズナラやブナ、ダケカンバ等の生育する林内の湿地。周辺にミズナラ、イタヤカエデ、ダケカンバ、シラカンバ等の再生林。 |
| 2 | 高桧山 (早池峰山東尾根) | 富古市川井 | 950-990 | 自然度の高いブナ林。シナノキ、ミズナラ、トチノキ等が混交。 |
| 3 | 早池峰山南東斜面 | 富古市川井 | 870-880 | ブナ林の中にパッチ状にヒノキアスナロが生育。 |
| 4 | 源兵衛平 | 富古市新里 | 910-740 | ミズナラやクリ、ブナの大径木からなる森林。一角にイヌブナが自生(北上山地内の北限)。 |
| 5 | 安家溪谷茂井 | 岩泉町安家 | 120-200 | コナラやブナ、オノオレカンバの大径木が混交する自然林。一角にアカマツ天然林。 |
| 6 | 平庭高原 | 久慈市山形村 | 830-880 | 放牧跡地にダケカンバ、シラカンバ、ブナなどが再生した、やや若い二次林。 |

表. 調査地点一覧

【サブテーマ4】

震災被災地における現地検証

- 2011年の東日本大震災の被災地における現地踏査と衛星リモートセンシング解析結果を照合した
- 時間・空間分解能の異なる衛星データでの解析結果をもとにして、MODISデータでの解析結果と照合し、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した



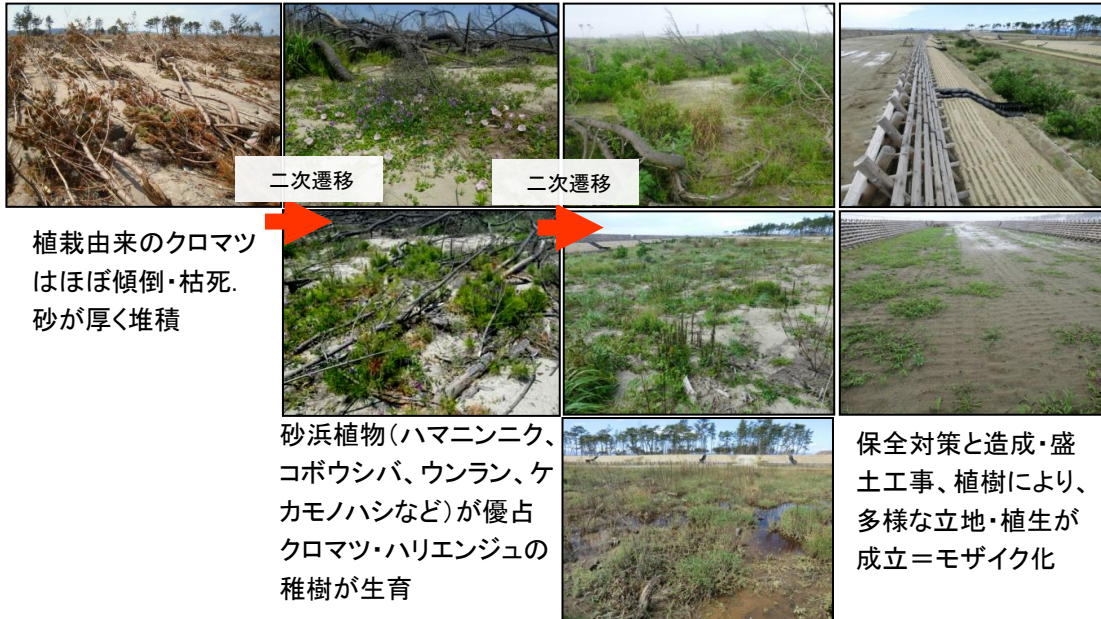
仙台湾岸域での衛星データによる解析とグラントゥールース(現地調査)との照合

低木状クロマツ植林の経年変化

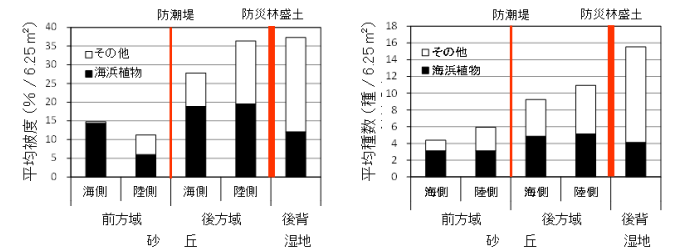
2011.5

2013.7

2015. 8,9

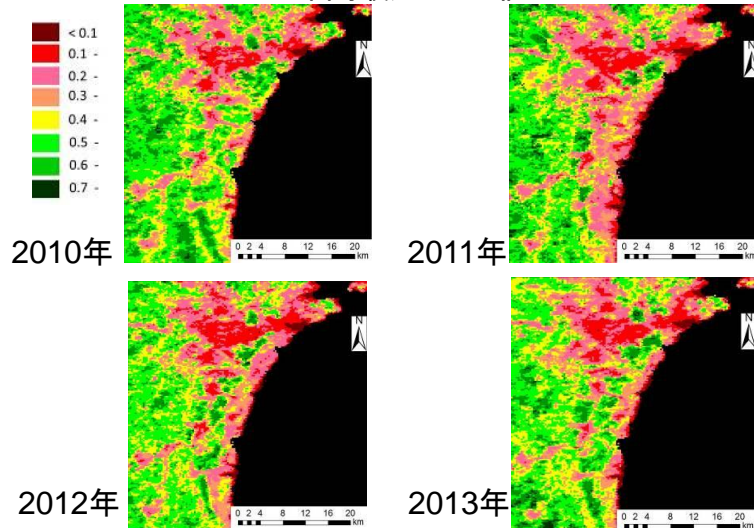


植生回復状況

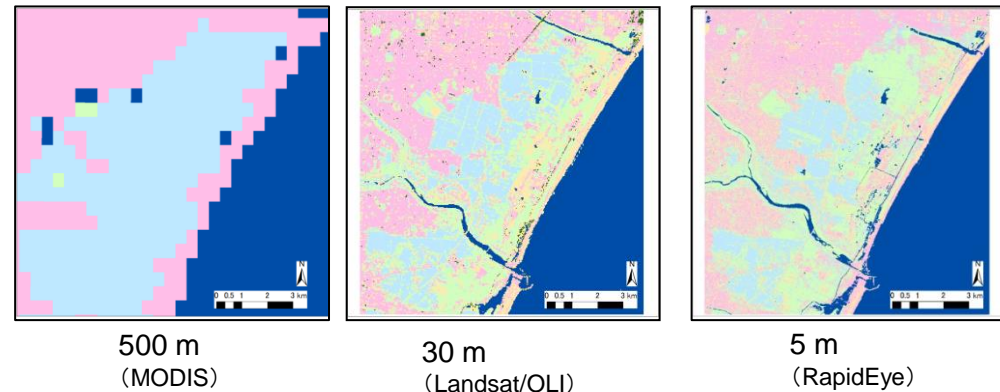


異なる空間分解能の衛星データ及び、MODISの解析によるグラントゥールースの照合

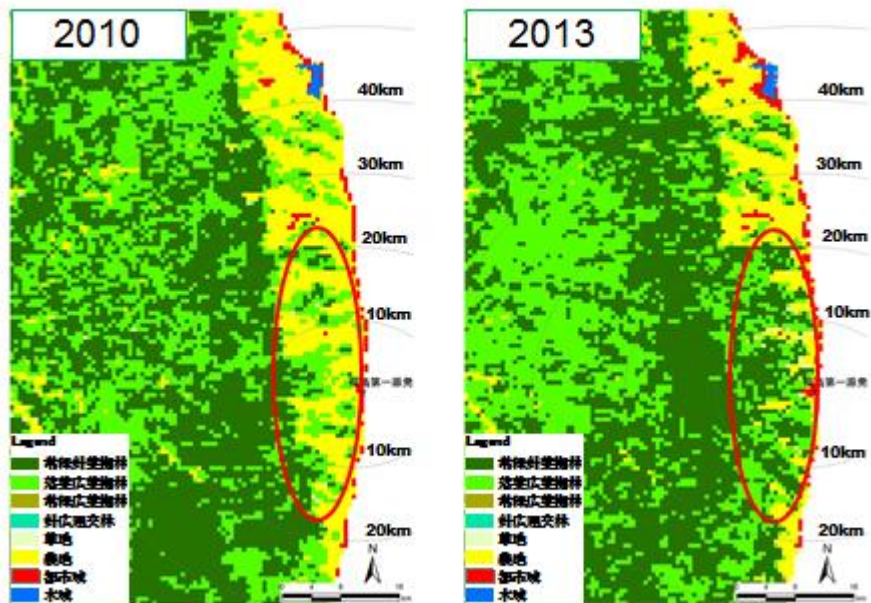
MODIS 年間最大NDVI値



異なる空間分解能の衛星データ



結果: 東日本大震災前後の土地被覆変化



2012年9月2日撮影

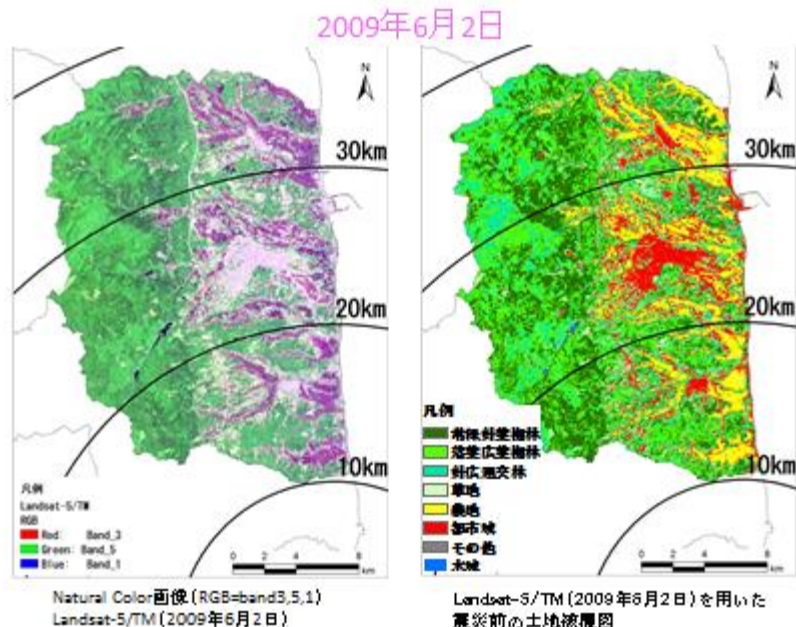


2014年8月26日撮影

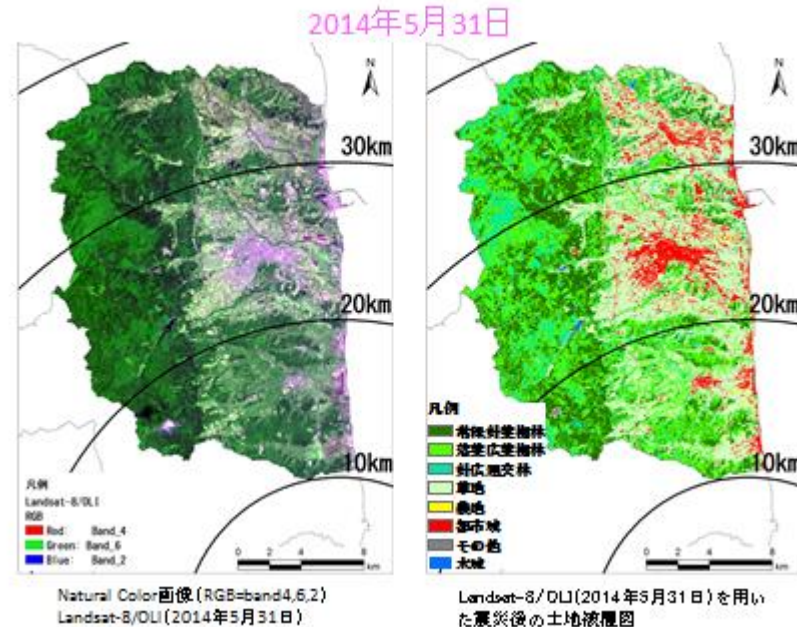


2014年8月26日撮影

結果: 南相馬市における土地被覆変化

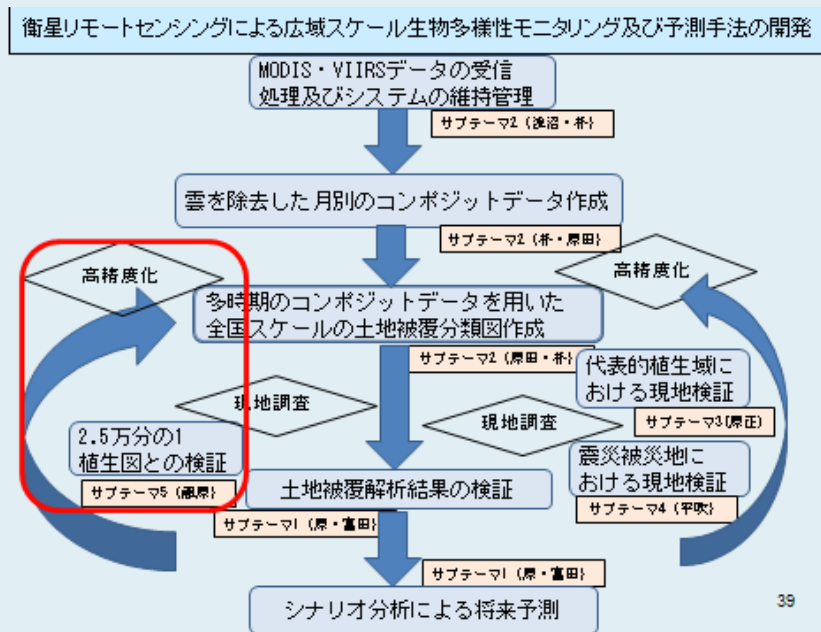


結果: 南相馬市における土地被覆変化



【サブテーマ5】 2.5万分の1植生図との検証

- MODISデータによる全国植生概況図と環境省の自然環境基礎調査で実施してきた既存植生図との対応を検討した
- 衛星リモートセンシングデータによる分類クラスと植生図の凡例との照合を検討し、植生現況図に相応しい凡例を提示した



MODISを用いた土地被覆図の凡例

・大区分のコード(58種類)からMODISデータから作成した植生図の凡例(高山植生, 常緑針葉樹, 落葉広葉樹林, 常緑広葉樹林, 針広混交林, 草地, 農地, 都市, 水域)に再分類

- 1. 高山植生: 01, 02, 03, 07, 09, 10
- 2. 常緑針葉樹林: 04, 05, 14, 15, 23, 28, 29, 38, 42, 54
- 3. 落葉広葉樹林: 06, 08, 11, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 30, 31, 32, 33, 41, 44
- 4. 常緑広葉樹林: 27, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 43, 55
- 5. 針広混交林: 12(道南)
- 6. 草地: 21, 25, 26, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 56,
- 7. 農地: 57
- 8. 都市域: 58
- 9. 水域: 中区分の開放水域

第6,7回自然環境保全基礎調査の植生区分

| 植生区分 | MODISコード | 説明 |
|--------|--|----|
| 高山植生 | 01, 02, 03, 07, 09, 10 | |
| 常緑針葉樹林 | 04, 05, 14, 15, 23, 28, 29, 38, 42, 54 | |
| 落葉広葉樹林 | 06, 08, 11, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 30, 31, 32, 33, 41, 44 | |
| 常緑広葉樹林 | 27, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 43, 55 | |
| 針広混交林 | 12(道南) | |
| 草地 | 21, 25, 26, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 56, | |
| 農地 | 57 | |
| 都市域 | 58 | |
| 水域 | 中区分の開放水域 | |

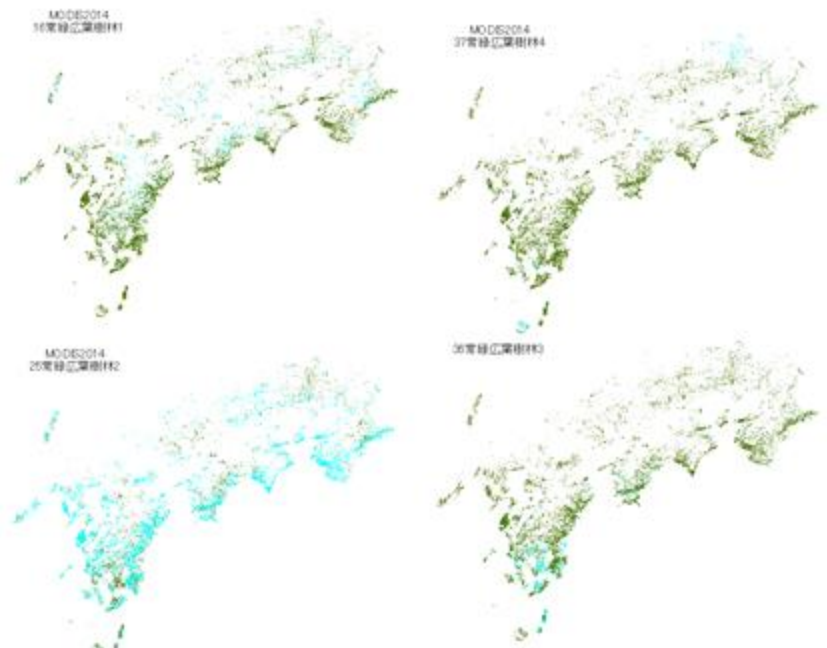


図. 2014年MODISデータによる植生現況図で区分された常緑広葉樹林4タイプ

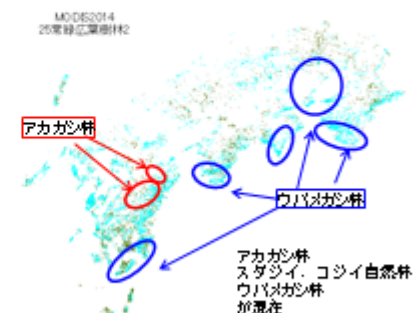
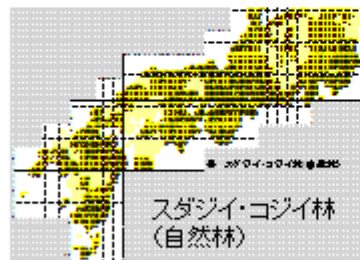
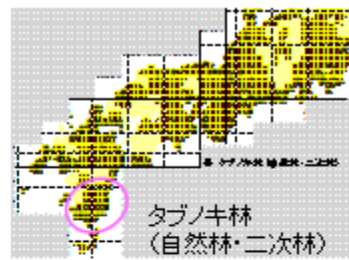
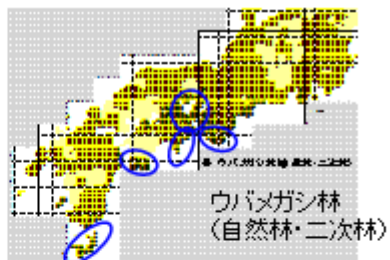
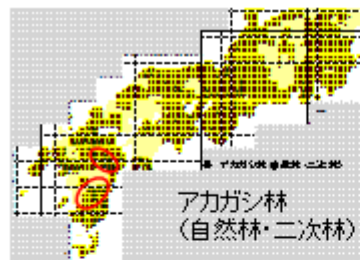


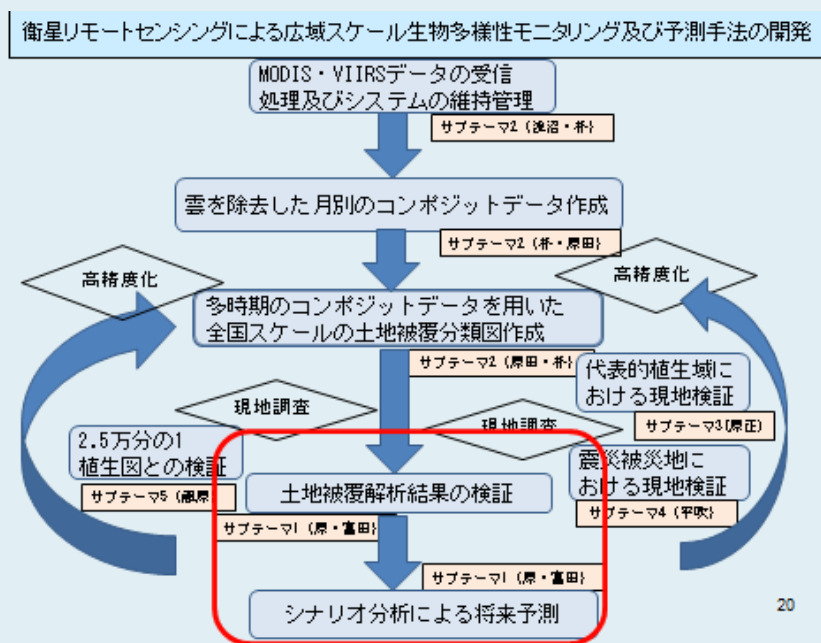
図. 常緑広葉樹林タイプ2(2014年MODISデータ)と各群落の分布 (2.5万分1植生図2次メッシュレベル)

図. 常緑広葉樹林タイプ4(2014年MODISデータ)と各群落の分布 (2.5万分1植生図2次メッシュレベル)

【サブテーマ1】

土地被覆解析結果の検証と将来予測

- 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の作成と分類手法の確立した
- 地域ごとにどの階層までの分類が可能かを検討した
⇒ 東北地方ではブナ林とナラ林の識別が可能
- MODISで抽出したブナ優占群落のシナリオ分析による分布域将来予測



下位の階層クラスのカテゴリ (落葉広葉樹林 優占群落)

1. 冷温帯の自然植生: ブナ群落

- ・ブナースズタケ群集
- ・ブナ-チシマザサ群集
- ・ブナ-チシマザサ群集
- ・ブナ-ミズナラ群集
- ・ブナ-ミヤコザサ群集
- ・チシマザサ-ブナ群集
- ・スズタケ-ブナ群集
- ・マルバマンサク-ブナ群集
- ・オオシラビソ-ブナ群集
- ・オオモミジガサ-ブナ群集
- ・ヒメアオキ-ブナ群集
- ・ブナ-オオモミジガサ群集
- ・ブナ-ヤマボウシ群集
- ・ヤマボウシ-ブナ群集

2. 冷温帯の代償植生: ミズナラ群落

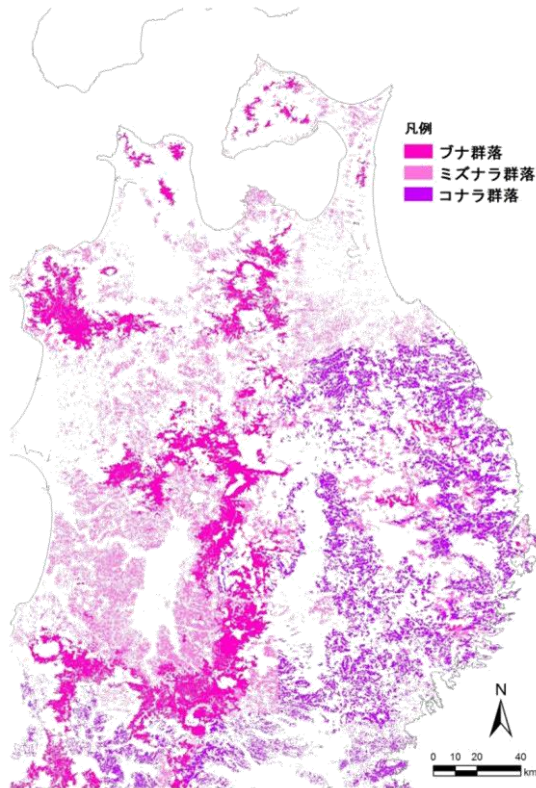
- ・クリ-ミズナラ群落
- ・カシワ-ミズナラ群落
- ・ミズナラ-リュウブ群落

- ・ミズナラ-クリ群落
- ・ミズナラ-リュウブ群集
- ・ミズナラ群落
- ・ブナ-ミズナラ群落

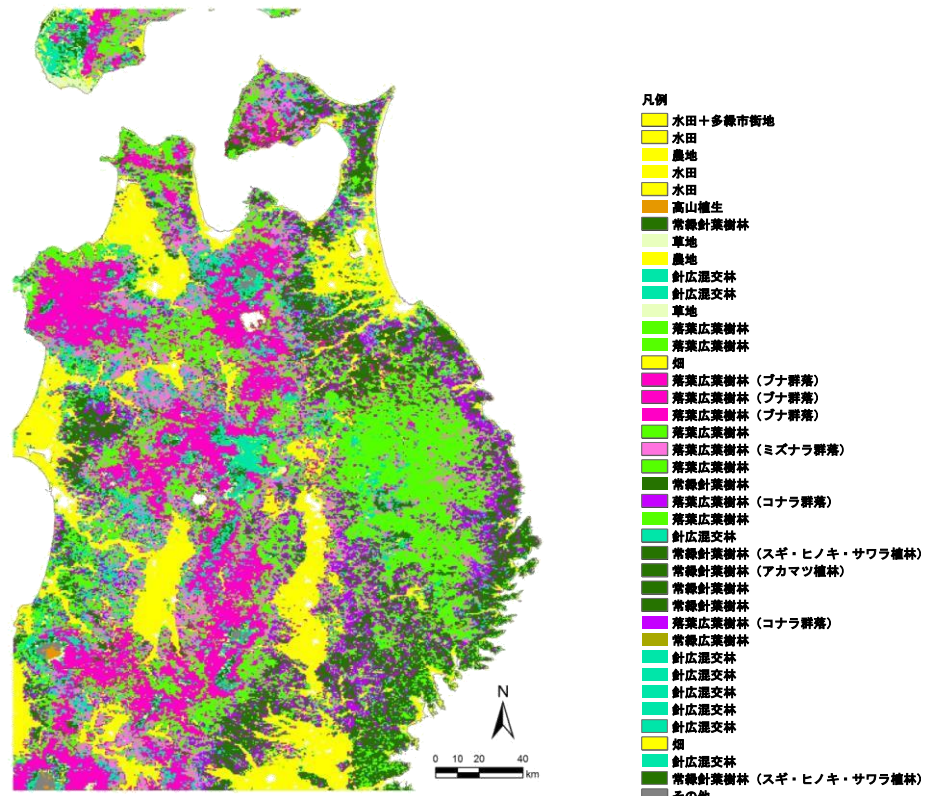
3. 冷温帯の代償植生: コナラ群落

- ・コナラ群落
- ・コナラ群落-クリ群落
- ・クヌギ-コナラ群落

- ・オニシバ-コナラ群落
- ・カスミザクラ-コナラ群落
- ・クヌギ-コナラ群落



5万分の1現存植生図



MODISデータによる植生現況図(2013年)

シナリオ分析による将来予測

全国植生現況図を用いた気候変動条件下におけるシナリオ分析によって、将来におけるブナ優占群落の分布可能性を表した (Hirayama et al., 2016)

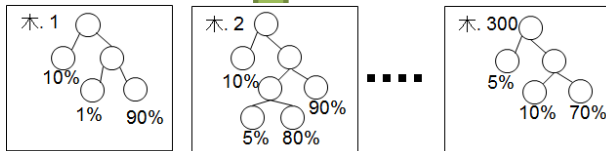
機械学習によるモデル構築

説明変数：気候・地形条件

- 最寒月の最低気温 (TMC)
- 暖かさの指数 (WI)
- 冬季降水量 (PRW)
- 夏季降水量 (PRS)
- 地形 (TOPO)
- 表層地質 (GEOL)
- 土壌 (SOIL)
- 標高 (ELEV)
- 斜面方位 (ASP)

目的変数：MODIS植生現況図から抽出

- ブナ林の在・不在



構築モデルによる分布予測

説明変数：気候条件 2080-2099年

- 最寒月の最低気温 (TMC)
- 暖かさの指数 (WI)
- 冬季降水量 (PRW)
- 夏季降水量 (PRS)

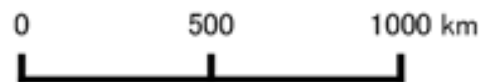
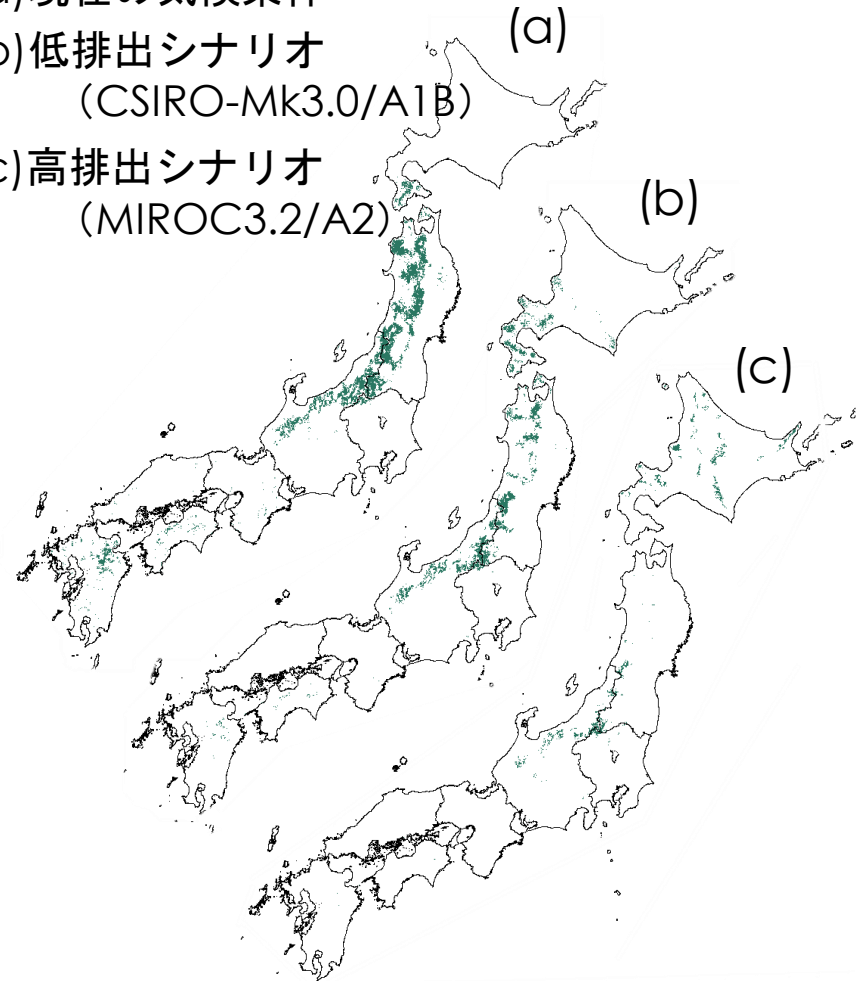
(a)現在の気候条件

(b)低排出シナリオ

(CSIRO-Mk3.0/A1B)

(c)高排出シナリオ

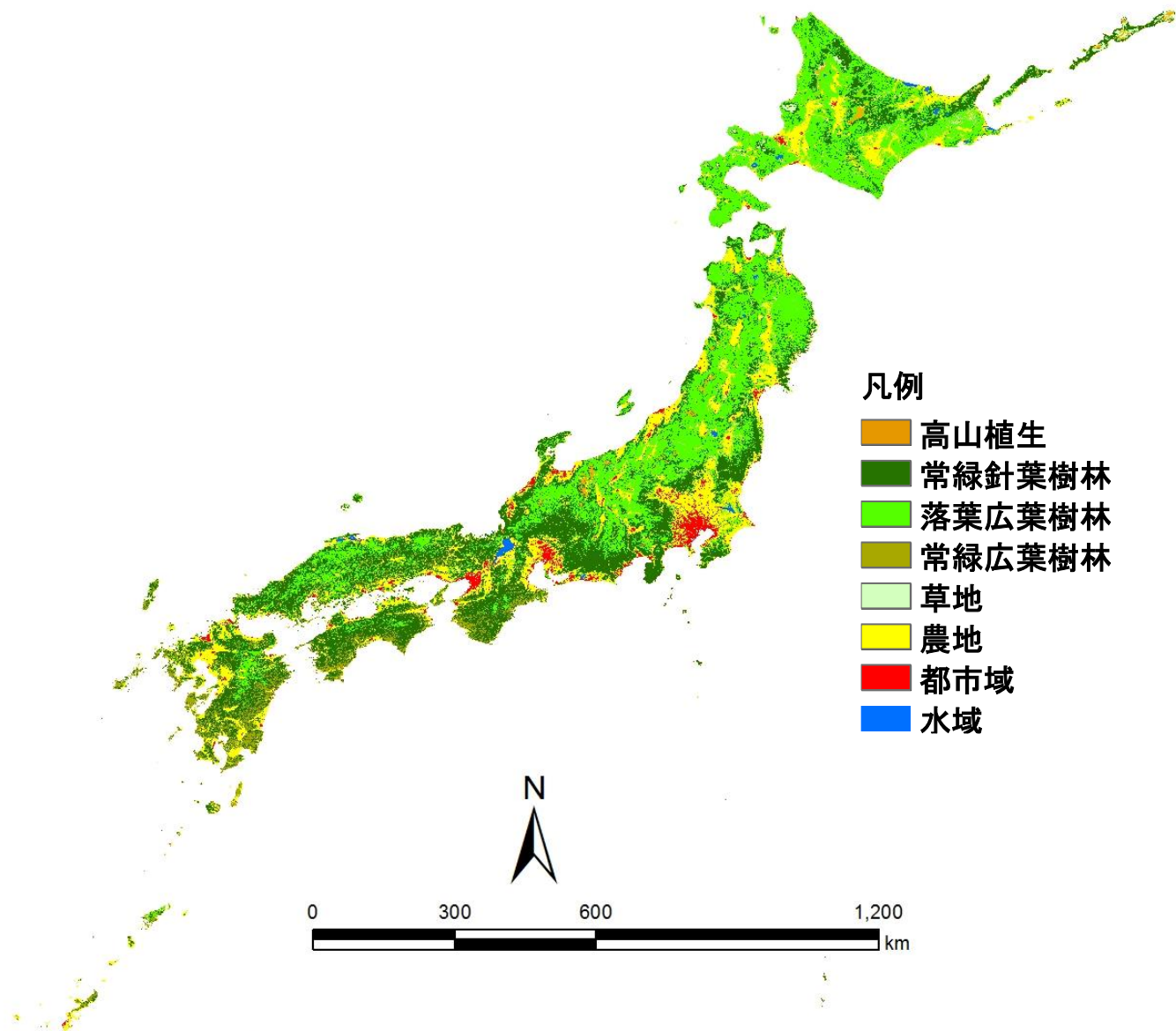
(MIROC3.2/A2)



分布確率

■ ≥ 0.4

最終成果：全国植生現況図



2014年(4,5,6,7,9,10,11月)のTerra/MODISデータ(解像度500m)を用いて作成

研究成果・環境政策への貢献

<全国植生現況図の作成>

- ・環境省で推進してきた自然環境保全基礎調査データを補完する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
- ・同一基準で国土全体の植生現況を迅速に把握しモニタリングすることが可能
- ・全国スケールの土地被覆動態の将来予測の基礎データとしても活用

<震災被災地の土地被覆変化抽出>

- ・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)を用いて被災地の的確な土地被覆変化の抽出が可能
- ・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

研究成果を用いた、日本国民との科学・科学技術対話の活動(研究開始～プレゼン前日まで)

③大学・研究機関の一般公開での研究成果の講演

| 実施日 | 主催者名 | 講座名 | 開催地 | 参加者数 | 講演した「研究成果」、「参加者との対話の結果」等 |
|----------|------------|----------------------------|-----------|------|---|
| H27.6.20 | 東京情報大学公開講座 | 21世紀の環境を考える 宇宙から生物多様性をとらえる | 千葉市 東京情報大 | 128名 | <ul style="list-style-type: none"> ・生物多様性の本質と、本研究の衛星リモートセンシングを用いた生物多様性モニタリング、それを市民活動にどのように活かすかについて講演した。 ・参加者から衛星リモートセンシングの仕組みや、生物多様性保全に関する質疑があり、有意義なディスカッションが交わされた。 |

⑤インターネット上での研究成果の継続的な発信

| 開始日 | 種類 | URL | 発信した「研究成果」等 |
|----------|-------------|---|---|
| H27.6.20 | Webページによる公開 | http://negis.tuis.ac.jp/kenkyu11405/ | ・本研究の課題である衛星リモートセンシングによる全国植生現況図作成手法や予測手法の開発等の成果を発信。 |

本課題の成果に係る「査読付」論文(国際誌・国内誌)の発表

| 執筆者名 | 発行年 | 論文タイトル | ジャーナル名等 |
|-------------------------------------|------|--|---|
| R. C. Sharma, K. Hara <i>et al.</i> | 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 |
| I. Harada, K. Hara <i>et al.</i> | 2015 | Monitoring of rapid land cover changes in eastern Japan using Terra/MODIS data | The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-7/W3, 403-408 |

他7本。 以上は全て、脚注又は謝辞に「環境省」・「環境研究総合推進費」・「課題番号」を記載。

本課題の成果に係る「査読付論文に準ずる成果発表」論文の発表 又は 本の出版

| 執筆者名 | 発行年 | タイトル | ジャーナル・出版社名等 |
|--------------------------------------|------|--|--|
| K. Hara <i>et al.</i> | 2016 | Impact of the 2011 earthquake and tsunami on coastal vegetation and landscapes in Northeast Japan: Findings based on remotely sensed data analysis | Ecological impacts of tsunamis on coastal ecosystems, pp.253-269, Springer |
| M. Tomita, Y. Hirabuki <i>et al.</i> | 2016 | Influences of large, infrequent disturbance caused by tsunami on coastal forest communities | Ecological impacts of tsunamis on coastal ecosystems, pp.383-394, Springer |

他3本・冊。

国内外における口頭発表(学会等)

| 学会等名称 | 年月 | 発表タイトル |
|--|---------|---|
| The 57th Symposium of the International Association for Vegetation Science | 2014.9 | Remote sensing analysis of tsunami damage and recovery process of coastal vegetation in northeast Japan |
| 日本リモートセンシング学会第57回学術講演会 | 2014.11 | Terra/MODISを用いた日本における植生図化手法の開発 |

他57件。 以上は全て「環境省」・「環境研究総合推進費」・「課題番号」を明示。

行政ニーズに即した 環境政策への貢献事例

概要(簡潔に)

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

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

行政ニーズに即した 今後の環境政策への貢献「見込み」

概要(簡潔に)

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。

成果の一つである衛星リモートセンシングデータを用いた機械学習による植生図作成手法は、次世代の詳細スケールの植生図作成に貢献できる可能性がある。

その他特記事項 (最大5項目程度)

概要(箇条書きで簡潔に)

・受賞 長谷川大輔(東京情報大学・研究分担者) 日本写真測量学会奨励賞(H28.5.26)