

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 26 日現在

機関番号：32515

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510332

研究課題名(和文) 東日本大震災で被災した海岸エコトーンの再生に関する景観生態学的研究

研究課題名(英文) Landscape ecological study on regeneration of coastal ecotones damaged by the Great East Japan Earthquake and subsequent huge tsunami

研究代表者

原 慶太郎 (HARA, Keitarou)

東京情報大学・総合情報学部・教授

研究者番号：20208648

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、東日本大震災で被災した海岸エコトーンの再生に関して、仙台湾沿岸の平野部を対象地域として、景観生態学における生態系の連結性(connectivity)の観点から、生態系及び生物多様性の保全に結びつくエコロジカル・ネットワークを再構築し、海岸エコトーンの再生の方策を示すことを目的として実施された。衛星リモートセンシングデータを用いて緑被地を抽出し、GIS(地理情報システム)を用いて緑被地パッチ間の連結性を定量的に評価し、景観生態学的な観点から、再生目標とすべきエコロジカル・ネットワークを抽出し、鳥類の生息状況を指標として、このネットワークの生物多様性保全における有効性を検討した。

研究成果の概要(英文)：This research analyzes ecological connectivity in coastal zone ecotones along the alluvial coastline of Sendai Bay damaged by the Great East Japan Earthquake of 2011. A landscape ecological approach with remote sensing data and GIS models is employed to quantify connectivity among remnant forest patches in the regenerating target areas. The research is designed to define an ecological network that can serve as a guideline for current and future restoration work. Data on distributions of wild bird species is used to assess the effectiveness of this network in terms of conservation of biodiversity and protection of ecosystems in the vital coastal zone ecotones.

研究分野：景観生態学

キーワード：東日本大震災 津波 海岸エコトーン 景観生態学 自然再生 エコロジカルネットワーク リモートセンシング GIS

### 1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日の東日本大震災では、大地震とそれによって引き起こされた大規模な津波が東日本の太平洋沿岸部の広域的な範囲に甚大な被害を及ぼした。大津波は、海から陸への移行帯である海岸エコトーンに大きな被害を与えた。ここで、海岸エコトーンとは、「浅海・汀線・砂浜・岩礁・海岸林・水路・運河・防潮堤・道路・農耕地を一体として捉える推移帯」を指す(平吹ほか, 2011)。本研究では仙台湾沿岸の平野部を対象地域として、海岸から陸域への一帯の再生の在り方を、とくに生態系及び生物多様性の保全の観点から検討し、21世紀にふさわしい復興策の提示を目的とする。

今回の大津波による被害は、生態学的には貞観地震(869年)以来の数百年から千年に1度という歴史的な時間スケールにおける低頻度大規模攪乱と位置づけられる。この時間スケールに対応した研究は、花粉分析や地層層序から推定したものに限られる。したがって、最初に震災後の状況を詳細に記録に残すことから始めなければならない。本研究のメンバーは、震災の初期対応が終わった時点から現地調査に入り、とくに海岸エコトーンを中心とする生態系であるマツ林からなる海岸林に永久調査区を設定し、被災及び再生状況の調査を続けている。

一方、再生の基本となる生態系の連結性(connectivity)の課題については、生物多様性の保全の観点から特に重要とされ、これまでも保全生態学や景観生態学の立場からの研究がある。主として景観生態学の立場から、パッチ・コリドー・マトリックスモデル(Forman, 1995)におけるコリドーの連結性の研究(Turner et al., 2001; ほか)が進められ、様々な生物の生息地に関する連結性の意義などに関する成果があげられている。(Lidicker & Koening, 1996; Rosenberg et al., 1997; etc.)ヨーロッパでは、1995年に欧州全体に亘るエコロジカル・ネットワーク計画が構想され(Council of Europe et al., 1995) Jongman & Pungetti (2004)による“Ecological Networks and Greenways”が発刊され、中・東部欧州のエコロジカル・ネットワーク図が公表されている(Bouwma & Grobelink, 2006)。我が国でも、筆者らのグループによってパッチ間の連結性を評価する手法の開発(望月ほか, 2000; 榊原ほか, 2001; 2002)が行われ、GISのソフトウェアに実装した(望月, 2002)。また、景観生態学の知見と重力モデルによりソース生息地とシンク生息地とに類型化した生息地間の連結性評価手法に関する成果を得ている。一方で、生息地の連続性は、対象とする生物によって適用するスケールが異なり、景観構造の階層性を考慮したマルチスケールでの検討が不可欠である。

これらの既存研究を踏まえ、今回の震災において被災した林地や湿地などの生息地の

連結性に関して、リモートセンシング技術やGIS(地理情報システム)を用いた解析によって、再生過程における重要な生息地の抽出を進めることは極めて意義深いことである。

### 2. 研究の目的

本研究は、東日本大震災で被災した海岸エコトーンの再生に関して、仙台湾沿岸の平野部を対象地域として、景観生態学における生態系の連結性(connectivity)の観点から、生態系及び生物多様性の保全に結びつくエコロジカル・ネットワークを再構築し、海岸エコトーンの再生の方策を示すことを目的とする。衛星リモートセンシングデータを用いて緑被地を抽出し、GIS(地理情報システム)を用いて緑被地パッチ間の連結性を定量的に評価する。景観生態学的な観点から、再生目標とすべきエコロジカル・ネットワークを抽出し、鳥類の生息状況を指標として、このネットワークの生物多様性保全における有効性を検討し、その結果を当地の震災復興における、生態系及び生物多様性保全の施策とし具体的に提示する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 震災前後の土地被覆分類

津波被災前後の景観変化を把握するために、2時期のSPOT HRG-2衛星データを使用した。解析には、まず、2時期の衛星データを用いて土地被覆を分類した。土地被覆分類の前に、それぞれの衛星データに対して幾何補正および大気補正を行なった。

前処理をした次に、画像全体(20 km × 20 km)に対して、森林、草地・低木、水田、市街地、水域、裸地の6クラスを設け、教師付分類である最尤法を用いて分類した。分類には、異なる土地被覆タイプの反射スペクトルの近似による誤分類を避けるために、環境省の第6、7回植生調査データを用いて土地被覆タイプごとにマスク処理をかけ既定のタイプごとに応じて再分類をかけた。最後、各時期の分類精度を検証したうえで、対象範囲(9 km × 21 km)を全体画像より切り出した(図1)。以上の解析は、ERDAS IMAGINE 2011(Intergraph Corporation)を使用した。

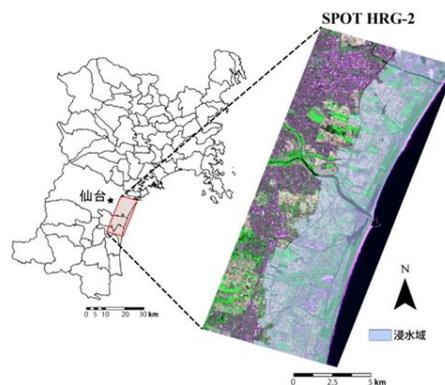


図1.解析対象地(©CNES 2010, Distribution Astrium Service/Spot Image S.A.)

## (2) 津波被災前後の景観変化と残存樹林の連結性についての解析

土地被覆分類図を作成したうえで、まず震災前後の景観変化を調べた。解析には、FRAGSTATS(McGarigal et al. 2012)を用いて対象範囲の震災前後の土地被覆タイプごとの分布面積、平均パッチサイズ、パッチ形状、パッチ密度の変化を明らかにした。

残存樹林の連結性を評価するために、各時期の土地被覆分類図から森林のみを抽出した。そのうえで、形態学的な画像処理の手法(収縮処理と膨張処理)に基づいた空間パターン解析(MSPA: Morphological Spatial Pattern Analysis)(Vogt et al. 2007)によって、森林域の各パッチをその連結性に果たす機能に応じて7つのタイプ(core, islet, perforation, edge, loop, bridge, branch)に分けた。MSPAについては、コアとコアでない場所を特定するためにエッジの幅を設定する必要がある。このエッジ幅とは、ユークリッド円距離の半径である(MSPA Guide 2010)。円の中心から半径内にあれば境界画素(エッジ+空洞)とみなし、中心から半径より大きい部分はコアとみなす。エッジ幅を指定するための画素数は、解析に使用する画像の画素サイズと画素の数を掛け合わせた値である。本稿は、3つのエッジ幅(10 m、20 m、30 m)を設定して別々に解析した。

## 4. 研究成果

### (1) 土地被覆の分類結果

震災前後の土地被覆分類図を図2に示す。土地被覆分類結果から、いずれも高い分類精度が得られた。それぞれの全体精度は91.48%(震災前)と88.65%(震災後)、カッパ係数は0.898(震災前)と0.864(震災後)であった。全体的には、震災後の分類精度がやや低かった。震災前と比べると津波による影響で草地と裸地の変化が大きく、それらの分類精度に影響したためと考えられた。震災前後の土地被覆を比較すると、沿岸に分布する海岸林と、水田の変化が最も大きかった。特に、沿岸部の海岸林については、津波で壊滅的な被害を受け、そのほとんどが倒壊林または裸地となっていた。その他、津波の浸水範囲に

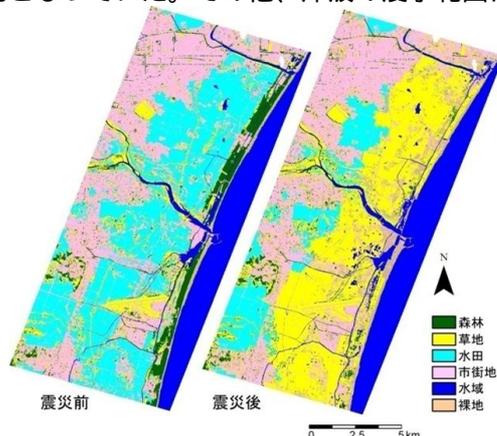


図2. 震災前後の土地被覆分類図

ある水田もほとんど耕作不能となっていたことによって草地になっていたことが明らかになった。

### (2) 津波被災前後の景観変化

被災前後の土地被覆タイプごとの面積の変化をみると、森林と水田の減少が最も大きかった。それぞれは、12.71 km<sup>2</sup>(6.8%)から6.12 km<sup>2</sup>(3.3%)、60.58 km<sup>2</sup>(32.2%)から19.2 km<sup>2</sup>(10.2%)に減少した。それに対して、草地と裸地の増加が最も大きかった。それぞれ、19.72 km<sup>2</sup>(10.5%)から66.2 km<sup>2</sup>(35.2%)、6.0 km<sup>2</sup>(3.2%)から14.8 km<sup>2</sup>(7.9%)に増加した。平均パッチサイズの結果から、森林、水田、市街地は全体面積が減少したとともにパッチサイズも減少した。草地・低木と裸地は、全体面積の増加とともにパッチサイズも大きくなった。一方、水域は面積がやや増加したが、パッチサイズが小さくなった。それは、パッチ状に水田に残された津波の引き水が増えたとみられる。パッチ形状の解析結果から、水域の変化が最も大きく単純または規則な形状となっていた。その他、森林と水田の形状もより単純となり、草地・低木と裸地がより複雑な形状となっていた。パッチ密度の結果から、草地・低木と水田の減少が最も大きく全体の分布面積の拡大とともに単位面積のパッチ密度が減少し、集中的な分布パターンになったことが示された。一方、元々集中的に分布していた森林、市街地、水域が津波の影響で分断化されパッチ密度が増加した。その他、裸地の面積拡大とともにパッチ密度も減少した。

### (3) 残存樹林における震災前後の変化パッチ分析

地域全体の土地被覆図を元に、津波の浸水域における森林域のみを抽出し震災前後の森林域におけるパッチ変化を解析した。その結果、対象範囲におけるサイズの大きい森林パッチが津波によってすべて消滅したことが分かった(図3)。元々大きく繋がった海岸林パッチが、分断した小さいパッチになった。

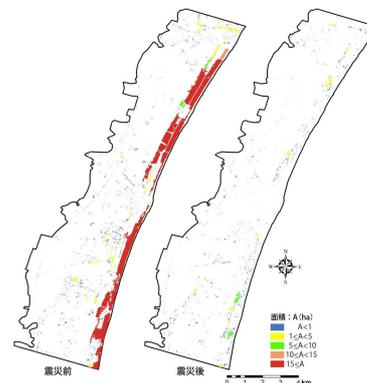


図3. 震災前後の樹林パッチのサイズ

平野部にあった屋敷林や街路樹などの小さ

いパッチは、津波の後多く減少した。それらの変化をパッチサイズごとに集計した結果、1ha以下の小さい森林パッチが震災前の4149個から3468に著しく減少し、1ha以上5ha以下のパッチが26個から15個に減少した(図6)。その他、10ha以上の大きいパッチがすべてなくなったことが分かった。

#### 連結性解析

MSPAによる解析結果から、被災前、大きなコアを持つ海岸林は海岸沿いにコリドー状に分布していた。海岸林以外の場所は、屋敷林や街路樹などはコア面積をほとんど持たないため、孤立パッチと分類された。被災後、海岸林における大規模な攪乱を受けたことが鮮明に示された一方、かろうじてコアを持つ樹林、およびそれらの樹林を繋ぐためのブリッジとなるパッチが残っていることを確認できた。また、エッジ幅ごとの解析結果をみると、エッジ幅の変化に伴ってブリッジとなるパッチが最も変化しエッジ幅の拡大とともに増加していたことが示された。震災後、エッジ幅が10mであるとき内陸側および海岸沿いに少ない大きなコアをもつパッチが確認されるが、30mになるとほとんど孤立か細いブリッジとなっていた。それらのことから、エッジ幅の指定によってパッチが対象範囲内に果たす役割に明らかな違いがあることが分かった。

震災前後の異なるエッジ幅のMSPAの解析結果を集計した結果、震災前後ともエッジ幅が浅い10mである場合、コア、エッジ、ブランチの分布面積が各エッジ幅の中で最も大きかった。それに対して、エッジ幅が深い30mの場合、孤立とブリッジの面積が最も大きかった。震災前後の変化をみると、いずれのエッジ幅においてもコアと孤立の変化が最も大きいことが分かった。それらのクラスをみると、震災前のコアの減少に伴って、孤立が著しく増加したと示された。なかで、エッジ幅が30mのコアは震災前と比べて全体の約90%(30.1%から2.9%)が最も減少したことに對して、エッジ幅が20mの孤立は震災前と比べて全体の2倍(33.8%から70.3%)が最も増加していた。また、エッジとブリッジはエッジ幅が10mの場合は震災前より増加した他減少した。空洞と環はいずれのエッジ幅でも減少し、ブランチが増加した。

#### (4) エコロジカル・ネットワークと景観再生

本研究の解析結果から、震災前に大きなコアとして成立していた海岸林は、震災後に大津波の影響により分断化され小規模の樹林パッチとなり、それぞれの連結性も低くなったことが明らかになった。別途調査を実施した鳥類の生息状況結果と併せて解析することで、残存樹林パッチのエコロジカル・ネットワークとしての機能を評価することができるものと考えられる。

当地域の海岸林は食物連鎖の頂点にたつアンブレラ種であるオオタカやミサゴなどの猛禽類の生息場所となっていたが、大津波によって樹林が消失し、まとまった樹林は限られた場所にしか存在しなくなった。震災の年から高木のマツには営巣が確認されているが、その後の復旧事業によって、残存樹林が伐採されるなどの影響がでている。海岸林から後背の農村地帯の屋敷林(いぐね)そして近隣の丘陵まで続くエコロジカル・ネットワークは、震災によって大きく変容したが、本研究で得られた知見をもとにして、樹林の連結性に配慮した海岸林の造林や屋敷林の再生が求められる。それは、当該地域の景観スケールにおける生物多様性に配慮した環境復元であり景観再生である。

#### 主な引用文献

- Forman, R. T. T. 1995. *Land Mosaics*. 436pp. Cambridge University Press, New York.
- 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: 45-57.
- Jongman, R. and Pungetti, G. 2004. *Ecological Networks and Greenways*. 368pp. The syndicate of the University of Cambridge, Cambridge.
- Lidicker, W. Z. and Koenig, D. 1996. Responses of terrestrial vertebrates to habitat edges and corridors. *Metapopulations and Wildlife Conservation* (ed. McCullough, R.), Island Press, Washington DC.
- McGarigal K, Cushman SA, and Ene E (2012) FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- Mochizuki, K., Hara, K. and Okamoto, S. 2000. Evaluation of Vegetation patch connectivity using remote sensing and GIS. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33 Suppl. B7: 146-151.
- Rosenberg, D.K., Noon, B.R. and Melsow, E.C. Biological corridor: form, function, and efficacy. *BioScience*, 47: 677-687.
- Turner, M. G., Gardener, R. H. and O'Neil, R. V. 2001. *Landscape ecology in theory and practice*. 401pp. Springer, New York
- Vogt P, Riitters KH, Estreguil C, Kozak J, Wade TG and Wickham JD (2007) Mapping spatial patterns with morphological image processing. *Landscape Ecology*, 22: 171-177.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 13 件)

- (1) Hara, K., Y. Zhao, I. Harada, M. Tomita, J. Park, E. Jung, N. Kamagata, Y. Hirabuki. Multi-scale monitoring of landscape change after the 2011 tsunami. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-7/W3, 2015. 805-809. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-805-2015. (要旨査読有)
- (2) 富田瑞樹・平吹喜彦・菅野洋・原慶太郎. 2014. 低頻度大規模攪乱としての巨大津波が海岸林の樹木群集に与えた影響. 保全生態学研究, 19: 163-176. (査読有)
- (3) 遠座なつみ・石田糸絵・富田瑞樹・原慶太郎・平吹喜彦・西廣淳. 2014. 津波を受けた海岸林における環境不均質性と植物の種多様性. 保全生態学研究, 19: 177-188. (査読有)
- (4) 岡浩平・平吹喜彦. 2014. 2011年大津波を受けた仙台湾南蒲生の海浜植物の再生状況. 保全生態学研究, 19: 189-199. (査読有)
- (5) 平吹喜彦. 2014. 仙台湾南部海岸域に学ぶ「激甚震災にかかわる植生と復興事業のふるまい」. 環境アセスメント学会誌, 12: 85-92.
- (6) HARA, K.: Damage to coastal vegetation due to the 2011 tsunami in northeast Japan and subsequent restoration process: Analyses using remotely sensed data, Global Environmental Research, 18(1): 27-34 (2014), 査読有
- (7) 趙憶・富田瑞樹・原慶太郎: "SPOT 衛星データを用いた仙台沿岸域における震災前後の景観変化の解析" 自然環境復元研究 6. 43-49 (2013), 査読有
- (8) 富田瑞樹・平吹喜彦・菅野洋・原慶太郎: "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 (2013), 査読有
- (9) 原慶太郎・樋口広芳: "東日本大震災が生態系に及ぼした影響" 地球環境 18. 23-33 (2013), 査読有
- (10) 平吹喜彦・原慶太郎・富田瑞樹: "砂浜海岸エコトーンの復興デザイン" BIOCIITY 52. 32-40 (2012), 査読無

[学会発表](計 41 件)

- (1) Hirabuki, Y., M. Tomita, H. Kanno, J. Nishihiro, K. Oka, K. Hara, Y. Zhao and I. Harada: Rapid and Heterogeneous Vegetation Recovery Following the 2011 Earthquake/Tsunami: New Findings

Supporting Integrated Coastal-Ecotone Management. The 9th International Association for Landscape Ecology World Congress, Portland, Oregon USA, 5-15 July 2015

- (2) Tomita, M., H. Kanno, Y. Hirabuki and K. Hara: Distribution of remnant forests and tree communities in the 2011 tsunami-inundated area, Sendai Japan. The 9th International Association for Landscape Ecology World Congress, Portland, Oregon USA, 5-15 July 2015.
- (3) 平泉秀樹・原慶太郎・平吹喜彦. 2015. 津波後の仙台市海岸残存林の鳥類生息状況. 日本生態学会第 62 回全国大会, J1-13. 鹿児島大学, 鹿児島市. 2015 年 3 月 19 日.
- (4) 富田瑞樹・菅野洋・平吹喜彦・原慶太郎. 2015. 仙台市の津波浸水域における残存林の分布と樹木群集. 日本生態学会第 62 回全国大会, PA2-125. 鹿児島大学, 鹿児島市. 2015 年 3 月 21 日
- (5) Hara, K., Y. Zhao, M. Tomita, N. Kamagata and Y. Hirabuki: Remote sensing analysis of tsunami damage and recovery of coastal vegetation in northeast Japan. The 57th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Perth, Australia, 10 Sep. 2014
- (6) 原慶太郎・趙憶・富田瑞樹・平吹喜彦・平泉秀樹: "仙台湾岸域における大津波被災地の生残樹林地の変化" 第 61 回日本生態学会大会. 広島国際会議場, 広島市. 2014 年 3 月 15 日.
- (7) 富田瑞樹・平吹喜彦・菅野洋・原慶太郎: "津波による大規模攪乱が海岸林の物理的構造に与えた影響" 第 61 回日本生態学会大会. 広島国際会議場, 広島市. 2014 年 3 月 15 日.
- (8) 原慶太郎・趙憶・富田瑞樹・平吹喜彦・平泉秀樹: "仙台湾岸域の 3.11 津波被災地における景観再生と生物多様性保全" 日本景観生態学会第 23 回大会. 岩手大学, 盛岡市. 2013 年 6 月 19 日.
- (9) 趙憶・富田瑞樹・原慶太郎: "仙台平野における異なる空間分解能の衛星データを用いた景観解析" 日本景観生態学会第 23 回大会. 岩手大学, 盛岡市. 2013 年 6 月 19 日.
- (10) Hara, K., Zhao, Y., Tomita, M., Hirabuki, Y., & Hiraizumi, H.: "Effects of the 2011 Tsunami on Vegetation and Landscapes in the Sendai Bay Coastal Area, Northeast Japan" 11th INTECOL Congress, Ecology. (20130818-20130823). CNGREX, London
- (11) Tomita, M., Y. Hirabuki, H. Kanno, K. Hara: "Ecological impacts of large

and infrequent disturbance: footprints of the 2011 Tsunami on coastal forest and landforms in Sendai, northeast Japan" 11th INTECOL Congress, Ecology. (20130818-20130823). CNGREX, London

- (12) 原慶太郎: "3.11 大津波が沿岸域の植生に与えた影響とその後の推移" 地球惑星科学連合大会(招待講演). 幕張メッセ, 千葉市. 2013年5月24日
- (13) 原慶太郎・富田瑞樹・趙憶・平吹喜彦・菅野洋・平泉秀樹: "東日本大震災被災地における生物多様性保全に配慮した景観再生 -仙台平野を例として-" 日本緑化工学会・日本景観生態学会・応用生態工学会 3 学会合同大会(ELR2012). 東京農業大学, 東京都. 2012年9月10日.
- (14) Hara, K.: "Tsunami damage to vegetation and landscapes in the coastal area of Northeast Japan: findings based on satellite data analysis" The 55th Symposium of the International Association for Vegetation Science. Hotel Hyundai Mokpo, Mokpo, Korea. July 26, 2012.
- (15) Hirabuki Y., Kanno H., Tomita M. and Hara K.: "Importance of the coastal ecotone concept in evaluating earthquake/tsunami disturbance and designing sustainable recovery: a case study from the Sendai Bay sand-dune fringe" The 55th Symposium of the International Association for Vegetation Science. Hotel Hyundai Mokpo, Mokpo, Korea. July 26, 2012.
- (16) Tomita M., Hirabuki Y., Kanno H. and Hara K.: "Influence of the 2011 tsunami on coastal forest and landforms in Sendai Bay, northeast Japan" The 55th Symposium of the International Association for Vegetation Science. Hotel Hyundai Mokpo, Mokpo, Korea. July 26, 2012.

〔その他〕

ホームページ等

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/ecotoneseandai/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

原 慶太郎 (HARA, Keitarou)

東京情報大学・総合情報学部・教授

研究者番号：20208648

### (2) 研究分担者

富田 瑞樹 (TOMITA, Mizuki)

東京情報大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：00397093

平吹 喜彦 (HIRABUKI, Yoshihiko)

東北学院大学・教養学部・教授

研究者番号：50143045

### (3) 連携研究者

無し

### (4) 研究協力者

趙 憶 (ZHAO, Yi)

平泉 秀樹 (HIRAIZUMI, Hideki)