

|             |                            |
|-------------|----------------------------|
| フリガナ        | ヒラヤマ ヒデタケ                  |
| 氏名（本籍）      | 平山 英毅（千葉）                  |
| 学籍番号        | H17002                     |
| 学位（専攻分野の名称） | 博士（総合情報学）                  |
| 学位記番号       | 第 H10012 号                 |
| 学位授与の日付     | 令和 2 年 3 月 25 日 *          |
| 学位授与の要件     | 学位規則第4条第1項該当               |
| 学位論文題目      | 津波被災景観域における連結性の定量的評価に関する研究 |

|        |          |
|--------|----------|
| 論文審査委員 | 主査 原 慶太郎 |
|        | 副査 花田真樹  |
|        | 副査 富田瑞樹  |
|        | 副査 朴 鍾杰  |
|        | 副査 夏原由博  |

#### 論文内容の要旨

健全な生態系の保持は、景観を横断する生物や、物質、エネルギー、情報が流動することで可能となる。生物の移動が阻害されることは、生物の個体数減少や局所的な個体群の絶滅確率の増加に加え、生物多様性の衰退につながり、生物を媒介することで成立していた物質やエネルギーの流動の妨げになる。したがって、生息地の分断・孤立化により生物の移動が阻害されることは、生態系や生物多様性の保持にとって大きな脅威となる。景観生態学では、生物による生息地間の移動のしやすさの度合いを連結性（connectivity）と定義し、生息地の分断が連結性に与える影響の定量化手法に関する研究が進められてきた。近年の研究では、健全な生態系や生物多様性を保持するための管理には、景観域における連結性の定量的評価が不可欠であることが示されてきた。このようななかで、2011年3月11日に、東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波が発生し東日本の太平洋沿岸に甚大な被害をもたらした。この津波は、生態学的には数百年に一度の頻度で発生する低頻度大規模攪乱と位置づけられる事象であり、被災した沿岸域の森林分布は急激かつ大きく縮小した。さらに、復旧・復興事業などの人為的攪乱により森林分布が変化している。生物の生息地としての森林分布が縮小することは、生息地の総量が減少するだけでなく、生息地間の物理的距離が増加し、連結性を低下させる要因となる。このため、東北地方太平洋沖地震に伴う津波による生態系への影響や回復に向けた議論をする上で、被災景観域の連結性変化を定量的に明らかにすることは重要である。一方、連結性研究や、森林分布を抽出するための衛星リモートセンシング技術を用いた先行研究は存在するがいくつかの課題がある。(1) 従来のピクセルベースの土地被覆分類手法では、孤立ピクセル（周囲の土地被覆クラスとは異なる微細な誤分類）が多量に発生するため、連結性研究に用いるデータとしては不十分である。(2) 低頻度大規模攪乱と、その後の人為的影響下における連結性変化を研究した例はなく、本事象の解明に向けた連結性定量化手法の開発が必要である。(3) 被災景観域において、連結性を効果的に高めるためには、新たな森林創出による連結性への効果を空間明示的に表すことが有効であるが、森林創出領域ごとの連結性の向上度の違いを空間明示的に表した研究例はなく、新たに手法を開発する必要がある。

そこで本研究では、上記の3つの課題を解決するため、まず、機械学習を応用した土地被覆分類手法を

検討し、高精度かつ孤立ピクセルを大幅に低減させた土地被覆図を作成した。次に、低頻度大規模攪乱による連結性への影響と、その後の人為的な影響による森林パッチ変化に伴う連結性への影響を定量的に明らかにするための連結性評価手法を検討した。最後に、連結性向上に効果的な森林パッチ創出領域を空間明示的に示す手法を開発した。以上のことを踏まえて、本論文は、序論と結論を含め、全6章で構成される。

第1章では、序論として、本論文の全体の背景と目的に加え、全体の構成を説明した。本研究の学術的・社会的な位置づけと、研究を進める意義について論述した。

第2章では、本章以降に実施する連結性の定量解析を進める上で必要となる、高精度かつ孤立ピクセルを大きく低減させた土地被覆図の作成手法を明らかにした。東北地方太平洋沖地震に伴う津波により、甚大な被害を受けた宮城県の太平洋側の一部地域を対象に、高分解能衛星である RapidEye 衛星により観測された画像を用いて土地被覆分類を実施した。一般的な土地被覆解析には、単一の分類手法が用いられてきたが、本研究では、機械学習分野で発展してきた多重分類器システム (Multiple classifier system: MCS) を解析に用いた。研究成果として、従来の手法と比べ、分類精度を維持しつつ、大幅に孤立ピクセルを低減させる効果があることを明らかにできた。

第3章では、森林パッチ変化による連結性への影響を定量評価した。まず、2章で開発した手法を用いて、仙台市の被災地（七北田川と名取川に挟まれた地区）を対象に、震災前（2010年）、震災直後（2011年）、震災直後以降（2012年）、5年経過時点（2016年）の年次ごとの土地被覆図を作成した。さらに、土地被覆図の森林クラスを抽出することで、森林パッチ分布図を作成した。次に、森林パッチ分布図をもとに、パッチ間を接続する閾値（連結距離）を複数設定し森林パッチネットワークの構築することで、生物の移動経路の推定および可視化した。最後に、森林パッチネットワークの連結性解析に頻繁に用いられてきた連結性積算指数 (Integral Index of Connectivity: IIC) に加え、クラス一致確率 (Class Coincidence Probability: CCP) を用いることで、津波による急激な連結性低下と、その後の、パッチ増減による森林パッチネットワークの連結性の変化を景観スケールで定量的に明らかにした。

第4章では、連結性向上に効果的な森林パッチの創出領域を選定する手法を開発した。まず、対象地において、森林パッチ創出が現実的に困難な領域（除外地域）を抽出した。その後、基準となる森林パッチ分布図（2016年）に対し、除外地域を除く領域を対象に、森林パッチを無作為に発生させ、森林パッチ発生の前後で連結性がどの程度向上したのかを、IIC と CCP を用いて解析した。この解析を反復し、それぞれの結果に空間的内挿処理を実施することで、連結性の向上度を示す空間分布図を作成した。分布図の作成により、対象とする連結距離ごとに、連結性向上の効果の高低の領域を空間明示的に示すことが可能となった。

第5章では、本論文の総合考察を述べた。本章は、4章までの結果を総合的に考察し、1章で述べた研究目的を達成したことを確認した。また、本研究を通して得られた新しい知見を挙げ、研究に関連するリモートセンシングや景観生態学の分野にいかに関与できるかを述べることに加え、研究の展望を述べた。

第6章では、本論文の結論として、本研究の意義と、大規模災害時の復興に対する貢献を説明した。

Ph.D. Dissertation

## **Studies on Quantitative Evaluation of Changes in Connectivity in a Tsunami Disaster Landscape**

Hidetake HIRAYAMA

In March of 2011 a huge tsunami devastated forest habitats along the coast of Sendai Bay in northeastern Japan. Evaluation and monitoring of the changes in habitat connectivity caused by this disaster are essential for managing the recovery of ecosystems and biodiversity. This study develops an accurate and practical method for analyzing connectivity changes, which can be used for designing ecosystem-based reconstruction projects. Three major issues were addressed in the research. 1) The need to reduce the number of isolated pixels generated by current and previous land cover classification methods, which render the classification results unsuitable for analyzing connectivity. 2) The need for a method that can assess changes in connectivity due to a large-scale disturbance such as a tsunami, as well as efficiently monitor changes during the subsequent period of recovery and reconstruction. 3) The need for a practical system that can integrate the results of the connectivity research into actual reconstruction projects.

In this dissertation, the overall background, objective and framework of the study are introduced in Chapter 1, and a multiple classifier system, which responds to the first issue noted above by reducing isolated pixels while maintaining classification accuracy, is introduced in Chapter 2. Chapter 3 discusses the binary connection model which was employed to generate forest patch network maps for 2010, just before the tsunami, 2011, immediately after the tsunami, and 2012 and 2016. In addition, two quantitative connectivity indices, the Integral Index of Connectivity and the Class Coincidence Probability were used to assess the changes in continuity. The network maps allowed clear visualization of changes in connectivity both for the original large-scale disturbance and subsequent process of recovery and restoration, and were supported by quantitative results from the indices. Chapter 4 responds to the third issue noted above, introducing a method for identifying the areas where forest patch creation would be most effective for improving connectivity. Shade maps show the quantitative and spatial effects of patch creation for improving connectivity, and thus can serve as blueprints for design of ecosystem-based reconstruction projects.

The research results are summarized and discussed in Chapter 5, focusing on new insights and contributions in the fields of landscape ecology and remote sensing. The conclusions and future directions for study are presented in Chapter 6.