

論文審査の要旨及び担当者

No.1

報告番号	甲	乙	第	号	氏名	Irene Erlyn Wina Rachmawan
論文審査担当者	主	査	政策・メディア研究科委員		環境情報学部・教授	清木 康
	副	査	名誉教授			徳田英幸
	副	査	政策・メディア研究科委員		環境情報学部・教授	巖 網林
	副	査	政策・メディア研究科委員		環境情報学部・教授	武藤 佳恭
	副	査	政策・メディア研究科委員		環境情報学部・教授	三次 仁
学力確認担当者：						
(論文審査の要旨)						
<p>Irene Erlyn Wina Rachmawan 君提出の学位請求論文は、「A Semantic Deforestation Interpretation System with the Closest Semantic-Ellipsoid Algorithm and L-Band Synthetic Aperture Radar Satellite Images」と題し、本編 6 章からなる。</p> <p>本論文は、世界規模での大きな自然破壊の事象となっている Deforestation を対象とした「Semantic Deforestation Interpretation System」を提案するものである。本研究の目的は、衛星画像(Radar Satellite Images)を対象とした Deforestation の自動検出と森林の状況についての意味の解釈を行い、画像内の Deforestation 領域の状況を表す言語表現を自動的に生成する方式、およびそれを実現するアルゴリズムと Semantic Deforestation Interpretation 機能をもつデータベースシステムを提案している。</p> <p>本論文が主な対象とする Deforestation は、森林火災の拡大や土壌の急激な劣化をもたらし、地球規模の気候変動を引き起こす重要な原因となっており、その対策を設計・実践することの難しさが指摘されている。</p> <p>本研究の目的は、広域のリモートセンシングによる衛星画像を対象とした画像処理による Deforestation 地域の自動検出と、その地域の Deforestation 地域の観測点の化学的土壌劣化、CO2 排出状況、森林の土地利用などの 20 パラメータを対象とし、それらを 20 次元の多次元空間として表現し、また、Deforestation の状況の意味を解釈する言語情報をその空間上に写像する Deforestation の意味を解釈するための Deforestation 意味空間を設計、構築した点にある。また、その Deforestation 意味空間において、実際のリモートセンシングにより得られた観測画像データを対象として、画像内の Deforestation 地域を特定する方法として、“Automatic Deforestation Detection Algorithm using L-Band SAR (DELSAR)”を提案し、分析対象地域の自動検出を実現している。</p> <p>さらに、対象地域の Deforestation の解釈を自動化する方法として、意味空間における画像データから得られる 20 パラメータを 20 次元の多次元空間上に写像し、その意味空間上に置かれた言語情報との間の距離を計量する方法として、“Closest Semantic-Ellipsoid Algorithm”を提案、実装し、画像内の Deforestation 地域の状況を言語情報として表現する意味計算とその実現システムを実現している。</p> <p>本研究の主要な新規性および有用性は、JAXA において研究されている実際の Phased Array Type L-band SAR-2 (ALOS-2/PALSAR-2) 衛星画像データを対象とした Semantic Deforestation Interpretation System の設計・構築、および、Semantic Interpretation を実現するシステム、アルゴリズムを提案し、それらを実際にデータベースシステムとして実装し、実験を行うことにより、それらの実現可能性、有効性を実証している点にある。本研究の主要な成果は、次の 3 点にまとめられる。</p>						

- (1) JAXA において研究されている実際のリモートセンシングデータである Phased Array Type L-band SAR-2 (ALOS-2/PALSAR-2) 衛星画像データを実データとして分析対象とし、画像内の Deforestation 地域を抽出する画像分析方法として、“DELSAR アルゴリズム”を設計、実装し、Deforestation 地域検出において85%の正解率を達成した。
- (2) Deforestation の意味を解釈するための Deforestation 意味空間を設計し、その空間上における意味解釈を行うための画像データ写像機能、言語情報写像機能を設計し、それらを実現する“Semantic Deforestation Interpretation System”を実装し、Deforestation 地域の画像から言語情報を抽出する機能により、Deforestation Interpretation という新しい研究対象を開拓し、実験により、その実現可能性を示した。
- (3) (2)における Deforestation 地域の画像とその言語情報を20次元の Deforestation 意味空間上に写像し、それらの間の距離計算により、Deforestation 地域の状況を表す意味を抽出する方法として、“Closest Semantic-Ellipsoid Algorithm”を提案し、アルゴリズムの実装と実験により、本アルゴリズムによる Deforestation 地域の意味解釈方法を提示し、実現可能性を示した。

本論文は次の6章から構成されている。

第1章では、環境問題としての Deforestation 現象の定義、および、Deforestation の観察に関する未解決の問題、研究目的、研究課題、および解決すべき課題、そしてこの研究の期待について概説している。第一に、Deforestation モニタリングに最も適した衛星画像の種類について述べている。この章では、Deforestation を検出するためのデータセットとしてLバンド SAR が最も適している理由を説明している。Deforestation 活動とその周辺の生態学的セクターへの影響、植生能力を低下させる土壤劣化、土壤侵食、および炭素排出等について議論している。第二に、Deforestation モニタリングと意味解釈における制約と限界について述べ、第三に、既存研究の制約を解決する方法として、本研究の期待される成果を述べている。

第2章では、Deforestation 現象の特徴を理解するために、基礎となるセマンティックコンピューティングとLバンド SAR の概念の最新技術について述べている。本章では、Deforestation モニタリングにおける既存の研究論文に対する制約を明らかにする。Deforestation 範囲のマッピングと Deforestation の意味解釈（原因、影響、土壤劣化、土地利用変化、CO2 排出等）間のギャップがどこにあるかを記述し、本研究がそのギャップをどのように埋めるかを示す。セマンティックメトリックの理論的枠組みとその概念についても概説する。

第3章では、Sensing 空間と Processing 空間を統合するための単一意味空間の概念を実現する新しいアプローチを提案している。このアプローチは、実行可能で効果的な環境現象の解釈方法として、人間の脳内の統合プロセスのように機能する。第一に、Deforestation 分析分野における衛星画像の検知と分析のために、SPA コンピューティングの Sensing と Processing の手順を組み合わせるための「単一意味空間」について説明する。第二に、環境システム設計の重要な側面として、異常現象の検出と classification およびリアルタイム Deforestation 検出システムのアプローチを示す。これらは、Deforestation 活動をロバストに検出する DELSAR アルゴリズムによって実現される。Rader データの speckle filtering などのリモートセンシング技術および

衛星画像データ処理技術の詳細について述べ、自動検出のパフォーマンスを向上させるための実験について説明している。第三に、多次元意味空間によって Deforestation の活動と影響を言語情報に変換し、環境状況を言語として解釈する新しい方法を説明する。以下の 5 種類の Deforestation の文脈：1) Deforestation の原因、2) Deforestation の影響（土地利用の変化（LULC））、3) 植生能力に影響を及ぼす土壌劣化、4) 土壌侵食、5) CO2 排出への影響が“context sensitive semantic deforestation metrics”によって定義されている。第四に、Deforestation 活動の原因と影響の意味的解釈のための複数のパラメータ/属性の関連性について、専門家の知識を形式化することにより、データベースとして記述する。

第 4 章では、生態学的パラメータを提示するための ellipsoid（楕円体）の概念を用いて、環境現象の意味を獲得するための新しいアルゴリズム“Closest Semantic-Ellipsoid Algorithm”を提案する。このアルゴリズムに関して、Closest Semantic-Ellipsoid Algorithm における 2 つの計算方法として（1）ellipsoid の環境パラメータの意味的投影、（2）最適意味獲得半径のための検索を実現する距離計算プロセスについて述べる。また、アルゴリズムのパフォーマンスと多値論理（Multi-valued Logic）との比較によって、環境問題の不確実性データを対象とした解釈においてしばしば指摘される問題を克服できることを示す。

第 5 章では、既存手法では実現できなかった文脈による意味的・時間的・空間的多次元解析結果を、提案手法による次の 3 種類の解析：（1）DELSAR による Deforestation 面積の検出、（2）多次元意味空間による Deforestation の意味解釈分析、（3）semantic ordering 関数によるセマンティック順序付けにより示している。

第 6 章では、本論文の各章の概要をまとめ、本研究分野における貢献をまとめている。

本論文は、世界規模の Deforestation 分析を対象とした研究分野において、Deforestation 地域の観測点の衛星画像 Radar Satellite Images を分析対象とし、Deforestation の状況を表現する主要 20 パラメータに着目した Semantic Deforestation Interpretation システムの設計、構築により、新しい Deforestation 分析システムおよびアルゴリズムを示した。また、本論文は、Deforestation 分析アルゴリズム、Semantic Deforestation Interpretation 機能、それらを有するデータベースシステムの設計を行い、学際的かつ実用的な実装により、提案方式の実現可能性、有効性を示した。

これらの研究成果は、著者が、Deforestation 分析を対象としてアルゴリズムおよびシステム構築を行った 7 年間にわたる研究活動によって生み出した成果の集大成であり、環境情報データベース分野、環境情報データマイニング分野における貴重な研究成果として位置付けることができる。

以上により、本論文の著者は、先端的研究を行うために必要な高度な研究能力、ならびに、その基礎となる豊かな学識を有することを示した。よって、本学位審査委員会は Irene Erlyn Wina Rachmawan 君が博士（学術）の学位を授与される資格があるものと認める。