



# リモートセンシングデータの環境・防災分野への応用に関する研究

中谷, 剛

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2013-03-25

(Date of Publication)

2013-05-07

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲5795

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1005795>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



## 論文内容の要旨

氏 名 中谷 剛

専 攻 地域空間創生科学専攻

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

リモートセンシングデータの環境・防災分野への応用に関する研究

指導教員 藤田 一郎 教授

(注) 2,000字～4,000字でまとめること。

地球温暖化というのは私たちの生活から遠く離れたものでは決してない。地球温暖化が確実に進行しているかどうかの議論は別にしても、地球温暖化による地域的な気候変化によって、身近な自然生態系が影響を受けているらしいことは実感できる。

地球温暖化防止対策は、緩和策と適応策に大別できる。緩和策としては、温室効果ガス排出量を削減、抑制することである。しかし、今後20～30年の間、積極的な投資により緩和策を実施し温室効果ガス濃度が安定化したとしても、温室効果ガスによる影響や海面水位上昇は数世紀に渡り続くと言われている。その間、私たちは適応策によってさまざまな影響を乗り越えていく必要がある。

再生可能エネルギー利用は地球温暖化緩和策として、我が国だけでなく開発途上国でも重要な課題である。再生可能エネルギーの開発では、どの地域が開発に適しているのかを知ることが重要で、小水力エネルギーの場合は、標高データや長期の水文観測データを利用すれば、その地域や地点を選定することができる。ところが、開発途上国では基本的な水文情報の長期的な蓄積がなかったり、観測データがあっても限られた地点であったり、欠測など観測結果の信頼性が低い場合が多いため、小水力エネルギー開発の検討が容易でないという課題がある。

気象庁が公表した「気候変動監視レポート2010:平成23年6月」によると、地球温暖化の進行に伴い、極端な大雨の頻度が増加する可能性が高いと予想されている。実際に1時間雨量が80mm以上の短時間強雨の発生回数は、1976年以降連続する11年～12年間毎の平均回数は少しずつ増加してきており、アメダスデータを使って集計した短時間強雨や大雨の発生回数は、ここ30年間余りで増加傾向があることが指摘されている。このような極端気象によって近年の水災害もその様相が多様化している。いわゆるゲリラ豪雨と言われるような、局所的でかつ短時間に発生し集中豪雨による都市型水害の増加もその事例である。地球温暖化の影響による極端気象による水災害対策として、ハードな治水施設は今後も必要であるが、それ以上に災害による被害を極力低減させ、少なくとも人命を守るためのソフト対策など、気候変動への適応策の重要性が指摘されている。

第二章では、地球温暖化緩和策の視点から、公開されている衛星観測データを利用して、小流域単位で小水力発電ポテンシャルの算出手法について検討した。この手法により、十分な量と質の水文観測データの取得が難しい開発途上国でも、小水力エネルギー開発の有望地選定に役立てることが期待できる。検討に利用した衛星データは、SRTM3(90mメッシュ標高データ)とGSMaP(全球降水量マップ)で、SRTM3を利用し小水力発電に利用できる有効落差を把握し、GSMaPの降水量と流出解析によって小水力発電に利用できる流量を算出する。SRTM3は地物や森林などを除去した本来の地盤標高データではないため、衛星標高データには誤差が含まれる。そこで、山間部を流下する富士川、山間部と平野部を流下する相模川、都市を含む平野部を流下する多摩川を対象に、実際にSRTM3の標高データからこれらの河川を抽出し、実際の滞筋の位置を衛星写真と比較することで標高誤差による影響を検証した。その結果、河川下流部や低平地で

(氏名： 中谷 剛 NO.2 )

流域平均勾配が 1/3000 より緩やかになると本川の抽出エラーが見られる傾向にあったが、それ以上の勾配では本川の抽出ができることがわかった。実際に関東地方を対象に流域面積 50km<sup>2</sup> を目標に小流域区分したところ、719 流域区分に対して、100Km<sup>2</sup> 以上の流域の発生率が 14.6%、150km<sup>2</sup> 以上の流域となると発生率は 4% 以下であった。

GSMaP と地上雨量計の観測値の比較から精度確認を行った。検討対象エリアには、GSMaP の解像度と同じ 10km メッシュ内に複数の地上雨量観測点がある多摩川上流と下流のエリアを選定した。検討期間は、2004 年(H16 年)の 7 月～10 月の降雨とした。その結果、衛星降水量は地上雨量を少なく推算する傾向があり、衛星降水量と地上雨量の 1 時間ごとの観測値の相関係数は 0.5 程度で、必ずしも高くないことがわかった。小水力発電ポテンシャルの算出では、使用可能な流量が年間を通してどのくらい利用できるかという統計的な性質が重要である。そこで、降雨の頻度分布を比較したところ、衛星降水量の頻度分布形状は地上雨量のものによく類似しており、衛星降水量を何倍かするという簡単な補正で降雨頻度分布が良く一致することがわかった。このことは、現地観測などを補足的に実施し補正係数を求めることで、衛星降水量の利用が十分可能であることを示唆している。最後に、関東地域を対象に 2003 年の GSMaP から年間平均降水量を算出し、SRTM3 から抽出された河川の最上流端と流域末端の標高差をすべて発電に利用できると仮定した場合の小水力発電ポテンシャルを算出し、手法が利用できることを確認した。

第三章では、地球温暖化への適応策として、航空レーザ計測によって取得される高精細高詳細な標高データの活用について検討した。従来の氾濫シミュレーションでは、250m～500m 程度の正方メッシュで計算が行われることが多い。この場合、氾濫水の挙動に影響を及ぼす盛土構造物や境界条件として重要な構造物も正方メッシュに沿って配置しなければならない等の課題があった。そこで、航空レーザ計測による高精度高詳細な標高データを有効に利用するため、地形や境界条件の再現性を高められる不定形メッシュによる 2 次元氾濫シミュレーションモデルを誘導した。差分法として、常流・射流混在流れの計算ができる TVD 化した MacCormack 法を利用した。TVD 化した MacCormack 法を、モデル方程式及び斜面上で跳水を生ずる 1 次元流れに適用し、その有効性を確認した。2 次元氾濫シミュレーションモデルへの拡張は、任意直交座標系上で TVD 化された MacCormack 法を誘導することで行った。福島県安達郡本宮町の阿武隈川における 1998 年 8 月洪水の浸水実績区域の再現計算によって、浸水範囲を的確に再現できることを確かめたが、浸水深については十分再現できず、今後の検討課題となった。

また、航空レーザ計測による標高データを利用した建物占有量の算出方法を検討し、都市の空間構造の把握に利用した。福井市を対象にした検討から、畑や水田に遊水地的機能があることを建物占有量の分布から示すことができた。また、都市部では主要な道路に沿って氾濫水が流下すると言われているが、その根拠として都市部では空いている空間が道路に沿って配置されていることを建物占有量の分布から示すことができた。これらから、航空レーザ計測データを利用した建物占有量により、都市の 3 次元構造を把握することができることを示した。

第四章は、第二章と第三章を総括し結論とした。

(別紙 1)

論文審査の結果の要旨

氏名	中谷 剛			
論文題目	リモートセンシングデータの環境・防災分野への応用に関する研究			
審査委員	区分	職名	氏名	
	主査	教授	藤田 一郎	
	副査	教授	大石 哲	
	副査	教授	富山 明男	
	副査			印
	副査			印
要 旨				
<p>地球温暖化というのは私たちの生活から遠く離れたものではなく、決してない。地球温暖化が確実に進行しているかどうかの議論は別にしても、地球温暖化による地域的な気候変化によって、身近な自然生態系が影響を受けているらしいことは実感できる。</p> <p>地球温暖化防止対策は、緩和策と適応策に大別できる。緩和策としては、温室効果ガス排出量を削減、抑制することである。しかし、今後 20～30 年の間、積極的な投資により緩和策を実施し温室効果ガス濃度が安定化したとしても、温室効果ガスによる影響や海面水位上昇は数世紀に渡り続くと言われていた。その間、私たちは適応策によってさまざまな影響を乗り越えていく必要がある。</p> <p>再生可能エネルギー利用は地球温暖化緩和策として、我が国だけでなく開発途上国でも重要な課題である。再生可能エネルギーの開発では、どの地域が開発に適しているのかを知ることが重要で、小水力エネルギーの場合は、標高データや長期の水文観測データを利用すれば、その地域や地点を選定することができる。ところが、開発途上国では基本的な水文情報の長期的な蓄積がなかったり、観測データがあっても限られた地点であったり、欠測など観測結果の信頼性が低い場合が多いため、小水力エネルギー開発の検討が容易でないという課題がある。</p> <p>気象庁が公表した「気候変動監視レポート 2010:平成 23 年 6 月」によると、地球温暖化の進行に伴い、極端な大雨の頻度が増加する可能性が高いと予想されている。実際に 1 時間雨量が 80mm 以上の短時間強雨の発生回数は、1976 年以降連続する 11 年～12 年間毎の平均回数は少しずつ増加してきており、アメダスデータを使って集計した短時間強雨や大雨の発生回数は、ここ 30 年間余りで増加傾向があることが指摘されている。このような極端気象によって近年の水災害もその様相が多様化している。いわゆるゲリラ豪雨と言われるような、局所的かつ短時間に発生し集中豪雨による都市型水害の増加もその事例である。地球温暖化の影響による極端気象による水災害対策として、ハードな治水施設は今後も必要であるが、それ以上に災害による被害を極力低減させ、少なくとも人命を守るためのソフト対策など、気候変動への適応策の重要性が指摘されている。</p> <p>第二章では、地球温暖化緩和策の視点から、公開されている衛星観測データを利用して、小流域単位で小水力発電ポテンシャルの算出手法について検討した。この手法により、十分な量と質の水文観測データの取得が難しい開発途上国でも、小水力エネルギー開発の有望地選定に役立てることが期待できる。検討に利用した衛星データは、SRTM3(90mメッシュ標高データ)とGSMaP(全球降水量マップ)で、SRTM3を利用して小水力発電に利用できる有効落差を把握し、GSMaPの降水量と流出解析によって小水力発電に利用できる流量を算出する。SRTM3は地物や森林などを除去した本来の地盤標高データではないため、衛星標高データには誤差が含まれる。そこで、山間部を流下する富士川、山間部と平野部を流下する相模川、都市を含む平野部を流下する多摩川を対象に、実際にSRTM3の標高データからこれらの河川を抽出し、実際の滞り筋の位置を衛星写真と比較することで標高誤差による影響を検証した。その結果、河川下流部や</p>				

氏名	中谷 剛
----	------

低平地で流域平均勾配が 1/3000 より緩やかになると本川の抽出エラーが見られる傾向にあったが、それ以上の勾配では本川の抽出ができることがわかった。実際に関東地方を対象に流域面積 50km<sup>2</sup> を目標に小流域区分したところ、719 流域区分に対して、100Km<sup>2</sup> 以上の流域の発生率が 14.6%、150km<sup>2</sup> 以上の流域となると発生率は 4% 以下であった。

GSMaP と地上雨量計の観測値の比較から精度確認を行った。検討対象エリアには、GSMaP の解像度と同じ 10km メッシュ内に複数の地上雨量観測点がある多摩川上流と下流のエリアを選定した。検討期間は、2004 年 (H16 年) の 7 月～10 月の降雨とした。その結果、衛星降水量は地上雨量を少なく推算する傾向があり、衛星降水量と地上雨量の 1 時間ごとの観測値の相関係数は 0.5 程度で、必ずしも高くないことがわかった。小水力発電ポテンシャルの算出では、使用可能な流量が年間を通してどのくらい利用できるかという統計的な性質が重要である。そこで、降雨の頻度分布を比較したところ、衛星降水量の頻度分布形状は地上雨量のものによく類似しており、衛星降水量を何倍かするという簡単な補正で降雨頻度分布が良く一致することがわかった。このことは、現地観測などを補足的に実施し補正係数を求めることで、衛星降水量の利用が十分可能であることを示唆している。最後に、関東地域を対象に 2003 年の GSMaP から年間平均降水量を算出し、SRTM3 から抽出された河川の最上流端と流域末端の標高差をすべて発電に利用できると仮定した場合の小水力発電ポテンシャルを算出し、手法が利用できることを確認した。

第三章では、地球温暖化への適応策として、航空レーザ計測によって取得される高精細高詳細な標高データの活用について検討した。従来の氾濫シミュレーションでは、250m～500m 程度の正方メッシュで計算が行われることが多い。この場合、氾濫水の挙動に影響を及ぼす盛土構造物や、境界条件として重要な構造物も正方メッシュに沿って配置しなければならない等の課題があった。そこで、航空レーザ計測による高精度高詳細な標高データを有効に利用するため、地形や境界条件の再現性を高められる不定形メッシュによる 2 次元氾濫シミュレーションモデルを誘導した。差分方として、常流・射流混在流れの計算ができる TVD 化した MacCormack 法を利用した。TVD 化した MacCormack 法を、モデル方程式及び斜面上で跳水を生ずる 1 次元流れに適用し、その有効性を確認した。2 次元氾濫シミュレーションモデルへの拡張は、任意直交座標系上で TVD 化された MacCormack 法を誘導することで行った。福島県安達郡本宮町の阿武隈川における 1998 年 8 月洪水の浸水実績区域の再現計算によって、浸水範囲を的確に再現できることを確かめたが、浸水深については十分再現できず、今後の検討課題となった。

また、航空レーザ計測による標高データを利用した建物占有率の算出方法を検討し、都市の空間構造の把握に利用した。福井市を対象にした検討から、畑や水田に遊水地的機能があることを建物占有率の分布から示すことができた。また、都市部では主要な道路に沿って氾濫水が流下すると言われているが、その根拠として都市部では空いている空間が道路に沿って配置されていることを建物占有率の分布から示すことができた。これらから、航空レーザ計測データを利用した建物占有率により、都市の 3 次元構造を把握することができることを示した。

第四章は、第二章と第三章を総括し結論とした。

本論文は、リモートセンシングデータとして衛星観測データと航空レーザ計測によるデータを取りあげ、環境防災分野への適用を図ったものである。衛星観測データからは河川流域のもつ小水力エネルギーポテンシャルの空間分布の推定に成功しているが、このような手法は内外に例が少なく新規性が高い。航空レーザ計測の活用では、それから得られる地形情報と新たに開発した氾濫解析モデルをリンクして実河川で発生した氾濫解析への適用を行い、良好な結果を得ている。これらの手法は、今後の環境・防災を論じていく上で非常に有用なツールとなり得るという点で、工学的な価値が高いものと認められる。

よって、学位申請者の中谷剛は、博士 (工学) の学位を得る資格があると認める。