



# HOKKAIDO UNIVERSITY

|                     |                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title               | Meteorological application of a dense GNSS network utilizing atmospheric delay gradient and crustal subsidence : The 2018 disastrous rain episode in SW Japan [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review] |
| Author(s)           | SYACHRUL, ARIEF                                                                                                                                                                                                                  |
| Degree Grantor      | 北海道大学                                                                                                                                                                                                                            |
| Degree Name         | 博士(理学)                                                                                                                                                                                                                           |
| Dissertation Number | 甲第14202号                                                                                                                                                                                                                         |
| Issue Date          | 2020-09-25                                                                                                                                                                                                                       |
| Doc URL             | <a href="https://hdl.handle.net/2115/79539">https://hdl.handle.net/2115/79539</a>                                                                                                                                                |
| Rights(URL)         | <a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>                                                                                                                          |
| Type                | doctoral thesis                                                                                                                                                                                                                  |
| File Information    | Syachrul_Arief_review.pdf, 審査の要旨                                                                                                                                                                                                 |



## 学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理 学） 氏 名 Syachrul Arief

審査担当者 主査 教 授 日 置 幸 介  
副査 教 授 古 屋 正 人  
副査 准教授 高 田 陽一郎  
副査 室 長 小 司 禎 教（気象庁気象研究所 気象観測研究部）

### 学 位 論 文 題 名

Meteorological application of a dense GNSS network utilizing atmospheric delay gradient and crustal subsidence: The 2018 disastrous rain episode in SW Japan  
(大気遅延勾配と地殻上下変動を利用した稠密 GNSS 網の気象学的応用：  
平成 30 年 7 月豪雨の事例研究)

### 博士学位論文審査等の結果について（報告）

近年、地球温暖化に起因する極端な気象現象が相次いでいる。特に梅雨前線の活動に伴う西日本を中心とした 7 月頃の豪雨は例年発生しており、それに関連した研究も盛んに行われている。しかし、その多くは気象学的な手法によるものであり、固体地球の変動の計測を目的に展開された全球航法衛星システム(GNSS)を利用した集中豪雨に関する研究はその多くが未開拓の分野で、今後の発展が待たれている。

本論文は、国土地理院が地殻変動の計測や国土の測量のインフラストラクチャーとして整備した GNSS 稠密連続観測網である GEONET(GNSS Earth Observation Network)を用いて、西日本で繰り返し発生する集中豪雨、特に被害の大きかった平成 30 年 7 月豪雨に関して測地学的な手法を用いて、(1)大気中の水蒸気の動態と(2)降雨荷重による地殻上下変動の二点に注目して研究したものである。

GPS（全地球測位システム）に代表される GNSS では、衛星からくるマイクロ波が大気によってうける遅延が測位誤差をもたらすため、精度向上の目的でこのような大気遅延が古くから研究されてきた。一方大気遅延から得られる可降水量(PWV)は、従来ラジオゾンデを用いて計測されてきた大気水蒸気量を手軽に高い時空間分解能で計測できるものとして認識され、GNSS の気象学的応用が模索されてきた。我が国でも 1990 年代にこのような「GNSS 気象学」の研究が気象学者と測地学者の連携で進められ、2000 年代半ばから気象予報の精度を高める目的で気象庁の数値気象モデルに GNSS で計測された PWV のデータ同化が日常業務として行われるようになった。しかし数値気象モデルで採用されている地形モデルの解像度不足による実際の GNSS 局の標高との食い違いから生じる誤差や、より小さな空間スケールの水蒸気のダイナミクスを反映する大気遅延勾配の未利用などいくつかの問題が積み残されていた。

本論文では大気遅延の方位角依存性を示す大気遅延勾配を積極的に利用して、勾配ベクトルの収束を示す大気水蒸気集中度(WVCI, Water vapor concentration index)と、海岸部の PWV から大気遅延勾配を内陸へ空間積分して得られる、海面高度に換算した PWV の二種類の量を求め、それらの双方が高まりを見せる場所と時刻で激しい降雨が生じることを統計的に示した。また実際に内陸局で観測された PWV と海面換算 PWV から、数値気象モデルで仮定された地表高度における PWV を内外挿して求める方法を提案し、全ての GEONET 局で計測された PWV の値を数値予報に利用する道筋を確立した。

さらに著者は大量の降水がもたらす地殻の荷重変形に注目し、集中豪雨前後の測位解の時系列から荷重変形が原因と思われる最大で 1-2 cm の地殻上下変動（沈降）の信号を取り出すことに成功した。その結果平成 28 年西日本豪雨では、集中豪雨域が九州北部から中国地方や関西地方に移動してゆく過程を初めて地殻変動から確認することができた。また地殻の弾性係数等を既知として地殻上下変動から逆に地表の荷重（この場合雨がもたらした水）の分布を推定することが可能になる。著者は既存のグリーン関数（地表荷重と地殻変動を関係づける関数）を利用して地殻上下変動分布から水の分布を最小自乗法で推定し、アメダス降雨計やレーダーで計測された降雨の分布との量的な比較も行った。また降水荷重による沈降が回復する時定数から、集中豪雨がもたらした雨がどの程度の時間スケールで海へ流出するのかの議論を行った。その結果山がちで地形の勾配が大きい我が国では一日程度の時定数で豪雨がもたらした水はほぼ海へ流出することを確認した。

これらはいずれも我が国の GNSS 観測網を用いた研究であるが、著者の出身国であるインドネシアにおける大気水蒸気や降水荷重による地殻上下変動についての研究も行った。インドネシアで取得された GNSS の生データと一般に公開されている GNSS データ解析ソフトウェア(goGPS)を用いて、自前のデータ解析を行った。特に 2020 年の元旦にインドネシアの首都であるジャカルタを襲った洪水に注目し、集中豪雨前後の PWV の動態や降雨荷重による沈降などの信号をそれらのデータ解析の結果から見出した。筆者はインドネシアの国土地理院に相当する政府機関の職員でもあり、これらの研究はインドネシアにおける将来の GNSS 網を利用した気象学的研究の発展の可能性をもたらす契機となるだろう。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。