

東海大学大学院平成27年度博士論文

衛星リモートセンシングによる
海面熱フラックスパラメータの推定と
その応用に関する研究

指導 久保田 雅久 教授

東海大学大学院地球環境科学研究科

地球環境科学専攻

日原 勉

論文の要約

論文題目「衛星リモートセンシングによる海面熱フラックスパラメータの推定と
その応用に関する研究」

日原 勉

キーワード：海面熱フラックス 衛星リモートセンシング AMSR2 海面水温 熱収支

第1章 序論

本論文では、海面熱フラックスをキーワードに一連の研究を行った。海面熱フラックス（潜熱フラックス、顕熱フラックス、短波放射フラックス、長波放射フラックス）は、大気海洋間で輸送される熱量であり、多種多様な地球環境問題に関連する重要な物理量である。特に、海洋表層の熱収支によって決定する海面水温変動に関して海面熱フラックスが直接的な影響を及ぼしている。

全球をカバーする海面熱フラックスデータセットの作成には、再解析データや人工衛星データが用いられている。様々な衛星センサーの中でも、マイクロ波放射計は、潜熱フラックスと顕熱フラックスを推定するために不可欠な海面水温、海上風速、海上大気比湿データを導出することが可能なため、海面熱フラックスデータの推定に重要なセンサーである。2012年7月に観測が開始されたマイクロ波放射計の1つである Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2) は、それ以前から継続的に作成された海面熱フラックスデータセットの期間を延長する上で、とりわけ貴重な役割を有している。そこで、本研究では、AMSR2によって取得された海面水温、海上風速、および海上大気比湿データの精度評価を行い、各物理量の推定誤差が海面熱フラックスの推定誤差に及ぼす影響を調査した。さらに、海面熱フラックスデータセットを用いた応用研究として、北太平洋中央部における海面水温の季節変動メカニズムを明らかにする研究を行った。ここでは、北太平洋の海面水温の季節変動に着目し、その特徴を調べた後、バルク混合層モデルの熱収支方程式を用いて季節変動を再現することで、メカニズムを明らかにした。

第2章 GCOM-W1/AMSR2 海面水温、海上風速データの評価

本章では、宇宙航空研究開発機構が提供する AMSR2 の海面水温および海上風速データ (Version 1) に対して、赤道太平洋西部に係留されている 12 基の Triangle Trans-Ocean Buoy Network (TRITON) ブイの観測値を用いた精度評価を行った。ここで使用した AMSR2 データは、格子化される前の瞬間値であるレベル 2 データである。また、TRITON ブイデータの時間解像度は 1 時間である。評価期間は、2012 年 7 月から 2013 年 6 月までの 1 年間である。

TRITON ブイデータを用いて、AMSR2 の海面水温データ（海上風速データ）を評価した結果、AMSR2 による推定値からブイ観測値を引いた平均差は 0.22°C ($0.30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) であり、Root

Mean Square (RMS) 差は $0.49\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($1.26\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) だった。AMSR2 の海面水温データは、水深数 mm における水温値に相当し、風が弱く ($2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下)、日射が強い ($800\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上) 時に、水深 1.5 m における水温値であるブイデータよりも $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上高い値を示した。また、AMSR2 の海上風速データは、1 年を通してブイデータよりも大きく見積もられる傾向が見られ、特に、月平均風速が $5.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上となる 2012 年 12 月から 2013 年 4 月にかけて、その傾向が顕著であった。潜熱フラックスおよび、顕熱フラックスに対して、TRITON ブイおよび AMSR2 の海面水温データに対する依存性を調べるために、両者によって計算された潜熱（顕熱）フラックスの比較を行った。その結果、バイアスは $5.9\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ($1.3\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) であり、AMSR2 を用いることで、海面熱フラックスが過大評価されることが分かった。また、RMS 誤差は $14.2\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ($5.9\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) であった。一方、海上風速に対する同様の比較では、潜熱（顕熱）フラックスのバイアスは $6.0\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ($0.4\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$)、RMS 誤差は $28.6\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ($2.8\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) であった。

第 3 章 AMSR2 海上大気比湿推定アルゴリズムの作成

海上大気比湿は、衛星データを用いて潜熱フラックスを計算するために必要な物理量であるが、AMSR2 の観測値から海上大気比湿を推定するアルゴリズムは、未だに存在しない。そこで本章では、世界中に係留されているブイデータを用いて、AMSR2 が観測した輝度温度データ（Level 1B データ）から海上大気比湿を推定する世界初のアルゴリズムを作成し、それによって推定される海上大気比湿と潜熱フラックスの精度を検証した。

初めに、世界中に係留されているブイが観測した海上大気比湿を基準データとし、AMSR2 の 14 個のチャンネルによって観測された輝度温度データを説明変数とする海上大気比湿推定アルゴリズムの開発を行った。ここでは、アルゴリズムの形式として、多重線形回帰式を採用した。非線形回帰式など、より複雑な形式のアルゴリズム開発も試みたが、推定精度に目立った改善は見られなかったため、単純な方法を採用している。本研究で作成したアルゴリズムによって推定された海上大気比湿をアルゴリズムとは独立なブイデータを用いて評価した結果、バイアスは、 $0.02\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ であり、RMS 誤差は $1.22\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ であった。この RMS 誤差は、過去に発表された衛星海上大気比湿推定アルゴリズム作成を対象とした研究における精度検証で示された RMS 誤差よりも小さい。ブイデータから計算された潜熱フラックスと海上大気比湿のみ AMSR2 データを用いて計算された潜熱フラックスを比較した結果、バイアスは $0.5\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、RMS 誤差は $32.1\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ であった。

第 4 章 北太平洋における海面水温の季節変動

本章では、初めに、北太平洋における海面水温の季節変動の特徴を調べた。その結果、季節変動は必ずしもきれいなサイン波形を示しておらず、領域によっては顕著な非対称性を示していることが分かった。そこで、次に、顕著な非対称性を示した北太平洋中央部 ($172^{\circ}\text{W}\sim 158^{\circ}\text{W}$ 、 $41^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 、領域 1) と北太平洋亜熱帯域西部 ($130^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 、 $18^{\circ}\text{N}\sim 22^{\circ}\text{N}$ 、領域 2) の季節変動をバルク混合層モデルの熱収支方程式を用いて再現することで、季節変動メカニズムを明らかにすることを目指した。領域 1 においては、1 月から 4 月にかけて混合層が厚く、混合層全体の水温を変化させるほどの大きな熱源と熱輸送が無いため、海面水温変動が小さい。また、6 月か

ら 8 月にかけては、主な熱源は短波放射フラックスであるが、潜熱フラックス、顕熱フラックス、長波放射フラックスによる海水の冷却が支配的でないため水温が急上昇する。最後に 9 月から 11 月にかけては、海面熱フラックスによる冷却に加えて、南向きのエクマン流による移流と混合層の深化に伴う鉛直エントレインメントによって海面水温が急激に低下することが分かった。一方、領域 2 においては、海面水温の季節変動が海洋を加熱する短波放射フラックスと、海洋を冷却する潜熱フラックスとの大小関係に支配されていることが分かった。ただし、バルク混合層モデルによる計算結果は、必ずしも観測値と定性的、定量的に一致しておらず、入力データに強く依存していた。そのため、本研究の結果から、領域 2 の季節変動メカニズムを解明できたとは言うことは出来なかった。特に、海面水温が低下し、混合層が深化する 7 月から 10 月にかけては、モデルの計算結果が海面熱フラックスの入力値に強く依存し、季節変動の要因を確定することが困難であった。この結果から、領域 2 に関しては、船舶や係留ブイによる詳細な観測、および混合層内における海水の運動をより詳細に記述する乱流混合層モデルを用いた検討が、今後の課題として必要である。

第 5 章 結論

本論文は、気候システムにおいて重要な役割を果たしている大気海洋間での熱の輸送量である海面熱フラックスに着目し、研究を行った。2012 年に打ち上げられた最新のマイクロ波放射計である AMSR2 は、長期の衛星海面熱フラックスデータセットを作成する上で、必要不可欠なセンサーである。そこで、本研究では AMSR2 の観測値から海面熱フラックスを推定することを試みると共に、推定された値の精度を検証した。その結果から、AMSR2 データを用いて推定される潜熱フラックスの誤差に対する各物理要素の寄与は、海上大気比湿、海上風速、海面水温の順に大きく、潜熱フラックスの推定精度の改善には、海上大気比湿と海上風速の推定誤差の改善が重要であることが分かった。一方、顕熱フラックスの推定誤差に対しては、海面水温の推定誤差の改善が重要であることが分かった。さらに、本研究では、バルク混合層モデルを用いて、海面熱フラックスに強く依存している海面水温の季節変動メカニズムを明らかにすることを試みている。その結果、顕著な非対称性を示す北太平洋中央部の海面水温は、1 月～4 月、6 月～8 月、9 月～11 月のそれぞれの期間において、異なる熱収支のメカニズムによって変化していることが分かった。この成果は、平均な季節変動からのずれとして現れる気候変動に対して、北太平洋中央部の海面水温がどのような応答を示すかを明確にするものである。本研究の結果は、より長期間かつ、より精度の良い海面熱フラックスデータセットの作成と、それを用いたより正確な気候変動予測に役立つと期待される。