

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年4月1日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21710032

研究課題名（和文） 人工衛星データを用いた水稲耕作地の二酸化炭素収支の広域推定

研究課題名（英文） Regional estimation of carbon dioxide budget on rice-paddy by use of satellite data

研究代表者

岩田 徹（IWATA TORU）

岡山大学・大学院環境学研究科・准教授

研究者番号：10304338

研究成果の概要（和文）：

人工衛星によって得られる地上植生変化、気温、日射量の広域データと地上農地における気象観測の長期間データを用いて、水稲耕作地生態系の二酸化炭素交換量を推定するモデルを構築した。モデルの妥当性を複数の地上観測データによって検証した上で、日本全体の水稲耕作地における二酸化炭素交換量の地域性および季節変化に関する特徴を見出すことができた。

研究成果の概要（英文）：

An empirical model for estimating regional budget of carbon dioxide on rice paddy fields is developed by use of satellite data and ground-based meteorological data. Estimated results by the model were validated by flux data-sets at multiple ground sites. Regional carbon dioxide budgets in Japan were also estimated and discussed their regional characteristics and seasonal variations.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：生態系影響評価、人工衛星データ、二酸化炭素、水稲耕作地、農耕地生態系、モデル、広域評価

1. 研究開始当初の背景

多種にわたる作物耕作の中でも、水稲耕作は東～南アジアにおける主要な耕作形態であり、陸域生態系に占める面積が大きく、グローバルな炭素循環に与える影響は小さくないと考えられる。また、生育状況が人工管理により時期によって大きく異なる植物の場合は、広域の植生状態の現況を忠実に即時表

現できる人工衛星データを用いたモデルが適していると考えられる。近年、人工衛星データの高度化により、人工衛星データを用いた研究は大幅に進展しており、植物生態系の状況も詳細にとらえることが可能となってきた。

申請者はこれまで、渦相関法を用いた大気・植生間の二酸化炭素交換量の地上実地測定とデータ蓄積、プロセス解明を水稲耕作地植

生を対象として行ってきており、現在も継続中である。単作水田について 1999 年以降の 10 年間、大麦・水稲二毛作田については 5 年間のデータを蓄積しており、とくに水稲耕作地の二酸化炭素吸収プロセスおよび二酸化炭素固定能の解明について大幅な研究の進展がみられた。また、これらのデータについては、プロジェクトベースおよび連携活動を通じて、データベース登録されているものの、とくにこれらの広域的評価について十分な活用がされていないのが現状である。

そこで、申請者は、一昨年度より広域をカバーする人工衛星データと植物生態の変化とプロセスを詳細に把握することが可能な地上観測データを併用して二酸化炭素収支の広域評価を行えるモデルを構築する研究を開始した。衛星データから得られたパラメータである正規化植生数 (NDVI) と地上観測により得られた気温と光合成有効放射量を入力値としたプロトタイプ of NEE 推定モデルを構築し、地上実測を行ってきた岡山県南部の水稲耕作地における NEE 評価を行った。さらに、水稲出穂日の推定方法の改良とともに PAR を衛星データから求めるスキームを組み込み、総一次生産量 (GPP)、生態系呼吸量 (Reco) 算出のためのパラメータの修正を行った結果、推定された NEE は地上観測 NEE と対絶対値精度 10% 以内でよい近似を得ることができた。

2. 研究の目的

本研究は人工衛星から取得したデータを利用して水稲耕作地の二酸化炭素収支の広域推定を行うことを目的とする。これまでに行った 1 点観測による推定モデルに広域の人工衛星データを適用し、まず、日本全域の水稲耕作地の二酸化炭素吸収量を広域推定し、さらにこれをアジア全域へ広げ、グローバル炭素収支への寄与度を評価する。このために、現行のプロトタイプモデルの改良、内部変数のパラメタリゼーションの改善、多地点での地上検証データの取得、地上観測結果とモデル推定との比較検証、広域推定値の算出と結果の検証を行う。

3. 研究の方法

地上実測サイト 3 点のデータを用いて、Gpp, Reco, NEE の季節変化に着目して、現行の「衛星ベースの二酸化炭素収支評価モデル」の改良と精度向上を行う。次に、国内の水稲耕作地の二酸化炭素の積算吸収量を広域推定し、作況指数との検証を行い、モデル特性の把握、地域差などの考慮による改良を行う。さらに国外 3 サイトの地上実測データを用いてモデルを検証し、アジア地域の水稲耕作地全体

に適用可能なモデルを構築する。地上実測については、従来も提携を行ってきた外部機関（農業環境技術研究所）からの支援とデータ提供を受ける。

(1) 衛星データ：衛星データはアメリカ航空宇宙局 (NASA) が管理、運用を行っている Terra 衛星に搭載されている中分解能撮像分光放射計 (MODIS) を使用する。地表面反射プロダクト (MOD09) から BAND1 と BAND2、地表面温度プロダクト (MOD11) から地表面温度 (LST) の値を取得する。BAND1 と BAND2 の反射率から、代表的な植生指標である NDVI を求める。

(2) 地上観測データ：地上観測は岡山県玉野市八浜町にある岡山大学農学部附属八浜農場の単作水田 (HCH) および近隣農家を借用して行っている大麦・水稲二毛作田 (OKY) で行っている渦相関 CO₂ フラックス観測によるデータを用いる。また、従来も研究協力を継続してきた農業環境技術研究所により運営・測定されている真瀬単作水田 (MSE) データを用いる。

(3) 植生指数データの検証：植生活性の指標である NDVI の検証には、短波日射の入射／反射比および光合成有効放射の入射／反射比から求める broadband NDVI を用いる。

(4) NEE 推定モデルの構築と検証：現行のプロトタイプモデル (フローを右図に示す) について、植生パラメータおよびインプットデータ (日射量および気温) の改良を進め、岡山南部サイトの推定精度を 5% 以内に向上させる。

(5) 水稲マップの作成：現行で公的に入手できる土地利用図は、発行から 10 年以上経過しており、現状の水稲耕作地の情報を正しく反映していない可能性が高いため、独自にモデル解像度にはほぼ対応する水稲耕作地マップを独自に作成し、作成した広域モデルに利用する。

(6) 推定モデルによる広域推定：以上を総合し、水稲耕作地の二酸化炭素吸収量 (Gpp, Reco, NEE) の 3 項目の季節変化傾向および年間積算値の広域推定を行う。また、日本国内の積算値推定結果については、政府公表による作況指数と比較することにより、モデル精度と特性の検証を行う。

4. 研究成果

(1) 協力サイトである茨城県つくば市真瀬の単作水田において新しい植生指標として GR (greenery ratio: 可視光波長帯における緑色の放射強度) を導入し、同サイトにおける水稲の生理特性を表す指標として有効であることを示し、構築したモデルによって、生育期全体でのモデル出力値が、観測値に対して GPP (純生態系交換量) は 102%, RE (生態

系呼吸量)は95%となり、高い精度での実測値を推定できることが示された。この結果では、NEEは109%と過大評価になった。

(2)岡山市の単作田において同様にGRを植生指標としてモデル計算を行った場合、つくば市のように、推定結果が必ずしも一致しない結果が得られた。これは、GRが岡山市における水稻植生の季節変化を精度高く推定できていないことに起因することが分かった。岡山市の単作田の場合、従来一般的に用いられてきたNDVIのほうが、植生の生理パラメータの季節変化を精度高く推定できていることが示唆された。

(3)光合成モデル(Gpp)の再構築を行った。既開発済のプロトタイプの光-光合成モデルでは、モデルパラメータの時定数の違いの限界により、光合成量の日極大値や季節変化に著しい差が出るのが散見されていたため、モデルをLUE(光利用効率)を利用するモデルへ再構築を行った。また、LUEのNDVIに対する依存関数が、太陽放射の大気透過率(≒晴天率)によって違うこと明らかにし、光合成モデルに反映した。

(4)生態系呼吸量の温度依存係数が、各年度の水稲生育状況に比例して変化することを明らかにし、耕作期間の呼吸量モデルに反映し呼吸モデル(Re)の再構築を行った。

(5)改良したモデルを使用して、岡山県単作水田(八浜HCH)における2003-04,2006-09での精度検証を行ったところ、それぞれの評価精度は、GPPが-1~+9%、Reが-13~+14%、NEE(純生態系交換量)が、+3~+9%の範囲であることを明らかにし、1測点についてのモデル評価では、極めて高い精度での予測が可能となった。

(6)国内水稻マップ(環境省版植生図と国土交通省版道路・建造物データとの融合)を独自開発(25m分解能)するとともに、都道府県別の水田面積を算出し、総務省版水田面積(2010)との比較を行った。北海道を除く46都府県の相関率で、前者が96.3%、後者が88.0%となり、独自開発した水稻マップの精度の高さが示された。また、水田面積率の違いによって、NDVIの季節変化の様子が違うことに着目し、人工衛星のNDVIデータから、他植生の影響を除く手法の方向性を確認した。

(7)2003年度における日本の水稻耕作地における総一次生産量GPP、生態系呼吸量RE、純生態系交換量NEEの広域評価を行った。

①各地方でGPPの季節変化はそれぞれ正規化植生指数NDVIの季節変化に依存しており、短期的な変動で光合成有効放射フラックスPARの変動が反映されていた。NDVIの傾向と同様に、早い時期から稲作がおこなわれる寒地ほどゆるやかにGPPが上昇し、遅くから稲作が行われる暖地ほど急激にGPPが上昇していることが確認できた。またピーク値は暖地である中国、四国、九州地方が他地方より少し大きな値を示した。NDVIのピーク値はどの地方でも同程度だったため、これはNDVIピーク時期のPARの違いに起因することが示唆された。REについては気温Tairのピークが反映され、同時期にピークをとったが、GPPと比べると季節的な変動は少なかった。RE値は寒地ほどその値は小さく、暖地は大きな値を示した。結果としてNEEの季節変化は値の大きさからGPPの変動に依存していた。NEEピーク値についてはどの地方も同程度であった。

②GPP、RE、NEEのそれぞれの積算値について沖縄県を除いた日本全国の地方別に解析した考察を行ったところ、生育期間中の積算値は、GPPが 3170 ± 700 ($\text{gCO}_2 \text{ m}^{-2}$)、REが 1420 ± 510 ($\text{gCO}_2 \text{ m}^{-2}$)、NEEが -1730 ± 440 ($\text{gCO}_2 \text{ m}^{-2}$)という結果になった。これらの値への支配因子を調べたところ、GPP積算値は平均PARや平均NDVIとの関係性は弱く、生育期間日数に比例するという結果となった。つまり、GPP積算値は生育期間日数の長い寒地ほど値が高く、生育期間日数の短い暖地ほど値が低くなる傾向になった。RE積算値では生育期間日数や平均NDVIとの関係性は弱く、平均Tairに比例した。GPP積算値とは逆に、RE積算値は寒地で値が低く、暖地で値が高いという結果が得られた。

③上記のGPPとREの結果を反映し、NEE積算値は寒地で値が高く、暖地で値が低いという顕著な傾向が見られた。

④構築したモデルを使って日本域の水稲耕作地にモデルを適用した結果、GPPが 3170 ± 700 ($\text{gCO}_2 \text{ m}^{-2}$)、REが 1420 ± 510 ($\text{gCO}_2 \text{ m}^{-2}$)、NEEが -1730 ± 440 ($\text{gCO}_2 \text{ m}^{-2}$)という結果になった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① Yoshinobu Harazono他8名④番目、
Applications of MODIS-visible bands
index, Greenery ratio to estimate CO2
budget of a rice paddy in Japan, Journal of

Agricultural Meteorology、査読有、Vol. 65,
No. 4, 2009, pp.365-374

〔学会発表〕(計2件)

①近本一宏, 梶原大輔, 原菌芳信, 岩田徹,
山本晋: Terra/MODIS データを用いた水稲耕
作地における CO2 吸収量推定
日本リモートセンシング学会, 2010 年 11 月
9-10 日, 鹿児島市

②近本一宏, 岩田徹, 山本晋, 宮田明, 原菌
芳信: 衛星データを用いた水田の CO2 吸収量
推定
農業環境工学関連学会 2009 年合同大会,
2009 年 9 月 15-18 日, 東京大学・駒場キャン
パス

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等
とくに無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩田 徹 (IWATA TORU)
岡山大学・大学院環境学研究科・准教授
研究者番号: 10304338

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし