アジア水稻作況作成のための農業気象提供システムの構築

Development of an Agrometeorological Data Provision System for the Outlook of Rice Growth and Production in Asia

大吉 慶*・小林 和史**・武藤 太郎**
奥村 俊夫**・祖父江真一*・金子 豊*

*Kei OYOSHI, Kazufumi KOBAYASHI, Taro MUTO
Toshio OKUMURA, Shinichi SOBUE and Yutaka KANEKO*

Abstract : The Asia Rice Crop Estimation and Monitoring (Asia-RiCE) initiative was launched by Asian space and agricultural agencies in 2012. The initiative promotes strengthening rice monitoring abilities through the use of remote sensing tools, and disseminating relevant, timely and accurate estimation of rice production. In this study, we develop a web-based system (JAXA's Satellite-based Monitoring Network system: JASMIN) to monitor the agrometeorological conditions of paddy areas in Southeastern Asia. JASMIN collects various satellite-derived agrometeorological data, provided by individual servers or websites, and then reprocesses the data spatially and temporally so that it can be used in the initiative. This system provides current and anomalous condition maps, as well as time-series chart in agrometeorological data such as soil moisture, solar radiation, Land Surface Temperature (LST), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), precipitation, and drought index, via the JASMIN website. This satellite-derived information, updated twice a month, is currently used to produce rice growth outlook for Indonesia, Thailand, Philippines, and Vietnam, as part of the Asia-RiCE initiative.

1. はじめに

国際連合食糧農業機関 (FAO) の統計 (FAO *et al.*, 2014) によると, 世界人口の11.3% (約8億人) は栄養不足である。栄養不足人口は途上国で依然多く, アフリカで20.5%, アジアで12.7%となっている。2050年の91億人の世界人口を賄うには, 現在の食料生産を約70%の増産することが必要になるとの推計もあり (FAO, 2009), 食料問題は国際社会において大きな課題である。また, 人間が直接消費する食料は, カロリー基準でその約23%が国際的に取引されており (D'Odorico *et al.*, 2014), 食料問題を考える際には国際的な作況や農業市場を考慮することが必要不可欠となっている。食料生産・輸出入のグローバル化により,

主要耕作地の作況判断は急激な食料価格の乱高下を誘発することがあり, 食料価格の急激な高騰は貧困層の食料へのアクセスを困難にし, また農業分野への適切な投資を阻害することが懸念されている (Meeting of G20 Agriculture Ministers, 2011)。

このような背景により, 2011年に食料価格乱高下及び農業に関する行動計画がG20農業大臣会合で採択され, 農業生産の増大及び生産性の向上や市場の透明性向上に対し, 国際社会が取り組むことの重要性が宣言された (Meeting of G20 Agriculture Ministers, 2011)。その中で全球農業監視イニシアチブ (Group on Earth Observations Global Agricultural Monitoring: GEOGLAM) の立ち上げが採択された。GEOGLAMは, 地球観測データを活用し, タイムリーかつ透明性の高い作況や収量予測を行うことが目的である。得られた結果は同じく2011年のG20農業大臣会合で承認され, FAOなどが運営するAgricultural Market Information System (AMIS) に提供することとなっている (Whitcraft *et al.*, 2015)。GEOGLAMでは小

* 宇宙航空研究開発機構

**リモート・センシング技術センター

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 55, NO. 3, 2016

麦，大豆，とうもろこし，米の主要4穀物を対象としているが，米はアジアで全世界の約90%が生産・消費されているため，アジアの宇宙および農業関連機関が中心となり，GEOGLAMの中で水稻監視を目的としたAsia-Rice Crop Estimation and Monitoring (Asia-RiCE)イニシアチブを実施している(祖父江ら，2014，Oyoshi *et al.*，in print)。

作物の生産量は，光，温度，水環境などの農業気象要素と大きく関係しており，広域の農業気象をタイムリーに把握することができれば，国スケールでの作況判断に有用である。様々な種類の地球観測衛星データから多岐に渡る農業気象情報が作成されているものの，それらは別個のサーバーやウェブシステムで提供されており，水稻作況判断への活用に適した時間間隔，空間スケールでは提供されていない。本研究ではAsia-RiCEイニシアチブにおける水稻の作況判断に活用するため，個別に提供されている農業気象プロダクトを時空間的に再処理し，様々な農業気象情報を一元的に閲覧できるシステム構築をすることを目的とした。

2. システム概要

2.1 ユーザーインターフェイス

本研究では，農業気象に関連する降水量，干ばつ指標，土壤水分量，日射量，地表面温度，植生指標を提供するウェブシステム(JAXA's Satellite based Monitoring Network system: JASMIN)を構築した。開発したシステムはすでに一般に公開している(<http://suzaku.eorc.jaxa.jp/JASM/index.html>)。ウェブ上のインターフェイスはhtml，JavaScriptおよびperlで実装した。図1にJASMINのユーザーインターフェイスでの出力例を示す。表1に示す各提供データ(降水量，干ばつ指標，土壤水分量，日射量，地表面温度，植生指標)は半月ごとに更新され，最新状況が常に閲覧でき，任意の年月を選択することで過去データを閲覧することも可能である。提供データ形式は，各国ごとの空間分布を示す画像形式(png)，各国の主要生産県(州)ごとの時間変化を示すグラフ形式およびテキスト形式となっている。画像形式では表

(a) 各指標の空間分布(現況および年比/年平差を表示) (b) 各指標の時間変化を示すグラフ(現況，1年前，年平値を表示)

図1. JASMINのユーザーインターフェイスによる出力例 (<http://suzaku.eorc.jaxa.jp/JASM/index.html>)

表1. JASMINで提供する農業気象

変数	単位	提供値	空間分解能 (赤道直下)	期間	データ取得元
降水量	mm	半月積算	11km	2002-	JAXA
干ばつ指標	—	15日目/月末日	11km	2006-	東京大学
土壤水分量	体積含水率(%)	半月平均	50km	2002-	JAXA
日射量	W/m ²	半月平均	5 km	2007-	JAXA
地表面温度	K	半月平均	5.5km	2002-	USGS
植生指標	—	半月最大値	5 km	2009-	JAXA

1に示す提供データの指定した時期のデータ値および
平年値との差もしくは比、グラフ形式では指定した年
の値が平年値および1年前のデータと比較できるよう
になっている。また、ユーザーの要望により、提供す
る6つのデータを1度に比較できるようにユーザーイ
ンターフェイスを設計している。グラフ形式およびテ
キスト形式の主要生産県ごとの値は、European Space
Agency (ESA) が作成した土地被覆データである
GlobeCover2009 (V2.3) を利用し、各県の耕作地域
(Post-flooding or irrigated croplands, Rainfed crop-
lands, Mosaic Cropland/Vegetation) の空間平均を計
算している。

2.2 対象地域

Asia-RiCE イニシアチブにおける水稻作況情報の
作成については、2015年12月現在、インドネシア、タイ、
フィリピン、ベトナムが対象となっており、これら4
カ国を対象としてJASMINを構築した。Asia-RiCE
では、4カ国の農業省の農業統計官およびASEAN食
料安全保障情報システム(ASEAN Food Security
Information System: AFSIS)と連携し、毎月の水稲
作況情報を作成している。AFSISは、ASEAN+3農
林大臣会合の合意の下で、ASEAN地域の食料安全保
障の強化を図るため、域内各国の農業統計情報を整
備・集約し、ASEAN+3緊急米備蓄や各国の政策立案
に資することを目的としたプロジェクトであり、日本
政府が財政的・技術的支援を実施している*1。時系列グ
ラフを作成する各国の主要耕作地については、各国の
農業統計官およびAFSISと協議して決定した。

2.3 使用データ

本システムでは、降水量、干ばつ指標、土壤水分量、
日射量、地表面温度、植生指標を提供しているが、プ
ロダクト作成に利用している衛星はそれぞれ異なる
(表1)。それぞれ異なる衛星を用いたプロダクトであ
るため、時間分解能や空間分解能は異なるが、時間分
解能については半月ごとの値を計算して時間間隔を全
て同一にし、半月ごとに情報を更新している。なお、
平年値については、気象庁では連続する30年のデー
タから計算した値を平年値としているが、本研究では衛

星プロダクトの利用可能期間を考慮して2009-2014年
の6年間の値を用いて計算した。気象庁の気象観測統
計指針(気象庁、2005)に従い、移動平均によって日
ごとのばらつきを平滑化した、日別平滑平年値(9日
間移動平均を3回実施)を計算し、その後に平年値を
算出した。また、土壤水分量についてはAMSR-Eが観
測を停止していた2011-2012年を除外して4年間の
データで平年値を計算した。この平年値を用いて、降
水量、土壤水分量、日射量の空間分布については平年
比(平年比=対象年値/平年値×100)、干ばつ指標、地
表面温度、植生指標の空間分布については平年差(平
年差=対象年値-平年値)を計算してデータを提供し
ている。

土壤水分量、日射量、植生指標は宇宙航空研究開発
機構(JAXA)が運用しているJAXA Satellite
Monitoring of Environmental Studies (JASMES,
<http://kuroshio.eorc.jaxa.jp/JASMES/index.html>)よりデータを取得している。JASMESでは、土
壌水分量、日射量のほか、積雪・海水域、森林火災、
可降水量、海面水温といった気候に関わる種々の物理
量を提供している。日射量および植生指標はTerra/
Aqua MODIS、土壤水分量はAMSR-E、AMSR2、
WindSatによる観測データから作成している(Frouin
et al., 2007, Fujii *et al.*, 2009, Saigusa *et al.*, 2010)。
なお、日射量は日平均の短波放射(太陽放射0.3 μ -4
 μ mの全量)を意味する。土壤水分量は現地時間午前
1:30(下降軌道)の観測値を毎日の値とし、半月間
の毎日の値の平均値を提供値として用いている。日射
量はTerraとAquaそれぞれで計算された日平均日
射量の平均値を毎日の値とし、半月間の毎日の値の平
均値を提供値として用いている。植生指標については
半月間の最大値を提供値としている。

降水量については、JAXAが運用する衛星全球降水
マップ(Global Satellite Mapping of Precipitation:
GSMaP, http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index_j.htm)のデータ提供サーバーより取得している。毎
時のデータから半月の積算値を計算して提供値として
いる。GSMaPは、複数の衛星(GPM-Core DPR/
GMI, TRMM TMI, GCOM-W AMSR2, DMSPシ
リーズSSMIS, NOAAシリーズAMSU, MetOpシ
リーズAMSU, ひまわりなどの静止気象衛星)を利用
し、準実時間で毎時の降雨量を推定しているプロダク
トである(Kutoba *et al.*, 2007, 可知ら, 2011)。

*1 農林水産省ウェブサイト：<http://www.maff.go.jp/j/press/tokei/kikaku/120307.html>

地表面温度についてはU.S. Geological Survey (USGS) より、Terra/Aqua MODIS の地表面温度プロダクト (MOD11C1, MYD11C1) を取得して用いている。Terra と Aqua のそれぞれ日中と夜間のデータを使用し、合計1日4回の観測データの平均を各日の値とし、それらの半月間の平均値を提供値としている。なお、観測データ数が1日4回未満の場合は、欠損扱いとしている。

干ばつ指標については、東京大学生産技術研究所より提供を受け、15日目、1ヶ月の末日の値を提供値としている。本干ばつ指標は Keetch-Byram Drought Index (KBDI) を利用し、降水量 (GSMaP) と静止気象衛星ひまわりによる地表面温度データから計算され

ている (Takeuchi *et al.*, 2015)。

3. アジア水稲監視イニシアチブでの活用

3.1 水稲作況情報作成での活用

GEOGLAM では主要4穀物(小麦、大豆、トウモロコシ、米)について、衛星データを活用した作況情報を AMIS に毎月提供している。AMIS は主要4穀物について、国際的な農業市場の透明性を高めるために、農業市場の情報分析・予測、参加国の情報収集能力の向上などを目的としている。AMIS は主要4穀物の需給や価格に関する報告書 (Market Monitor) を毎月発行しており*2, Market Monitor に含まれる Crop

図2. JASMIN による2015年6月後半 (6/16-6/30日) におけるタイの降水量, 土壌水分量の平年比

図3. JASMIN による2015年のタイのスファンブリ県の降水量および土壌水分量の時系列変化状況 (2014年および平年値のデータも示されている。Climate は平年値を意味する)

*2 AMIS Market Monitor: <http://www.amis-outlook.org/amis-monitoring/monthly-report/en/>

Monitor には衛星観測データを活用した4穀物の作況情報が掲載されている。Crop Monitor は GEOGLAM によって毎月とりまとめられており、インドネシア、タイ、フィリピン、ベトナムの水稲の作況情報については、Asia-RiCE イニシアチブが AFSIS および各国の農業統計官と連携し、現地情報および JASMIN による農業気象情報を活用して作成している。Asia-RiCE イニシアチブで作成された水稲作況情報は GEOGLAM を通じて毎月 AMIS に提供されている。

3.2 タイにおける2015年の干ばつ状況把握

2014年夏から発生したエルニーニョ現象は2015年も拡大しながら継続し、監視海域の海面温度平年差は過去10年間で最大となった^{*3}。2015年は東南アジア各国で少雨傾向が見られ、米の収量が平年よりも減少することが各地で予測されている（2015年11月時点）。

特にタイでは2015年7月上旬まで続いた干ばつにより、2015年11月時点では、作況の著しい不良が見込まれている（農林水産省、2015）。図2は、2015年6月後半のJASMINによる降水量、土壤水分量の平年比を示し、図3は2015年のタイ王国中部のスファンブリ県の降水量および土壤水分量の時系列の変化状況を示している。タイ王国では中央を南北に流れるチャオプラヤ川流域および東北部が水稲の主要耕作地となっているが、両方の地域とも6月の降水量、土壤水分量が平年比で50%程度であることが確認できる（図2）。図2の北西部や北東部においては、降水量と土壤水分量の間で差異が見られるが、土壤水分量は河川や灌漑などによる降雨の流出の影響を受けることなどが原因として考えられる。図3は、中部のスファンブリ県の降水量と土壤水分量の時系列変化を示しており、降水量は5月から8月まで継続して平年より少なく、土壤水分量は1月から継続して少ない状況が続いていることが確認できる。

Asia-RiCE イニシアチブでは、AFSIS および各国の農業統計官と連携して、このような降水量や土壤水分量などの衛星観測による農業気象データと、現地的情報を組み合わせることで総合的に水稲の作況を判断し、作況情報を毎月作成している。また、各国の農業統計官の水稲作況判断における地球観測データの活用への理

解を促進するため、ワークショップ、トレーニングについても AFSIS と連携して継続的に実施している。

4. ま と め

本研究では複数のウェブシステム、サーバーに分散している地球観測プロダクトを収集し、ユーザーニーズに適合するように時空間的にこれらのプロダクトを再処理することで、水稲の作況判断のために様々な農業気象データを一元的に提供するシステム（JASMIN）を構築した。本システムにより提供される情報は、対象地域の多雨や干ばつ、日射量の多寡などを国スケールで適時捉えることができ、作況に影響を与える農業気象の早期把握に有用である。GEOGLAM の構成要素のひとつである Asia-RiCE イニシアチブでの水稲作況判断に活用するために JASMIN は構築され、JASMIN で提供する農業気象データはインドネシア、タイ、フィリピン、ベトナムにおける国スケールでの水稲作況情報を作成するために活用されている。今後は対象国の拡大や、よりユーザーに親和的なインターフェイス構築、さらには新たなプロダクトの開発・検証や利用にも取り組む計画である。

本研究では Asia-RiCE イニシアチブにおける水稲作況作成に地球観測プロダクトを活用するため、システムを新たに構築した。しかしながら、新たにシステムを構築することなく、複数サーバーに分散している複数プロダクトを一元的に活用できるシステムを、特定に目的に応じて簡易、迅速かつ低コストでカスタマイズすることができれば、様々な分野で地球観測プロダクトをより効率的かつ効果的に利用できると考えられる。

謝 辞

本システムの開発において、日射量、土壤水分量、降水量、植生指標については JAXA の JASMES、GSMAp プロジェクト、地表面温度については USGS、干ばつ指標については東京大学生産技術研究所の竹内渉准教授から提供を受けた。本システムが提供するデータの水稲作況判断への活用については、AFSIS の Montol Jeamchareon プロジェクトマネジャー、木村祥治専門官から多大な支援を受けた。JASMES および GSMAp プロダクトの本稿への記載については、

^{*3} JAXA エルニーニョウォッチ：<http://sharaku.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/amsr/elni2/elni2.cgi>

JAXA の久保田拓志主任研究員, 村上浩主幹研究員から助言を頂いた。関係各位にここで改めて感謝する。
(受付日2016.2.9, 受理日2016.5.9)

参考文献

- 可知美佐子, 久保田拓志, 牛尾知雄, 重 尚一, 木田智史, 青梨和正, 岡本謙一, 沖 理子, 2011. 複数の衛星搭載マイクロ波/赤外放射計の複合による「世界の雨分布速報」システムの構築とその利用. 電気学会 A 部門誌, 131(9), pp.729-737.
- 気象庁, 2005. 気象観測統計の解説. pp.114-128.
- 祖父江真一, 大吉 慶, 奥村俊夫, 富山信弘, 金子 豊, 2014. GEO 全球農業監視プロジェクトアジア稲作チーム活動について. 日本リモートセンシング学会誌. 34(4), pp.314-318.
- 農林水産省, 2015. 国際的な食料需給の動向と我が国の食料供給への影響 (2015年11月). pp.24.
- D'Odorico, P., Carr, J.A., Laio2, F., Ridolfi., L., and Vandoni, S. 2014. Feeding humanity through global food trade. AGU Earth's Future., 2, pp.458-469.
- FAO. 2009. How to feed the world in 2050. High-level Expert Forum Rome, Italy, 24-26 June.
- FAO, IFAD and WFP. 2014. The state of food insecurity in the world. Strengthening the enabling environment for food security and nutrition. FAO, Rome, pp.8.
- Frouin, R., and Murakami, H. 2007 Estimating photosynthetically available radiation at the ocean surface from ADEOS-II global imager data. Journal of Oceanography, 63, pp.493-503.
- Fujii, H., Koike, T., and Imaoka, K. 2009 Improvement of the AMSR-E algorithm for soil moisture estimation by introducing a fractional vegetation coverage dataset derived from MODIS data. Journal of The Remote Sensing Society of Japan, 29(1), pp.282-292.
- Kubota, T., Shige, S., Hashizume, H., Aonashi, K., Takahashi, N., Seto, S., Hirose, M., Takayabu, Y. N., Nakagawa, K., Iwanami, K., Ushio, T., Kachi, M. and Okamoto, K. 2007. Global precipitation map using satelliteborne microwave radiometers by the GSMaP project: Production and validation. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 45(7), pp.2259-2275.
- Meeting of G20 Agriculture Ministers, 2011. Ministerial declaration action plan on food price volatility and agriculture. http://www.oecd.org/g20/topics/agriculture-food-security/2011-06-23_-Action_Plan_-_VFinale.pdf (accessed 20 Dec. 2015)
- Oyoshi, K., Tomiyama, N., Okumura, T., Sobue, S., and Sato, J., Mapping rice-planted areas using time-series synthetic aperture radar data for the Asia-RiCE activity. Paddy and Water Environment, *in print*.
- Saigusa, N., Ichii, K., Murakami, H., Hirata, R., Asanuma, J., Den, H., Han, S.J., Ide, R., Li, S.G., Ohta, T., Sasai, T., Wang, S.Q., and Yu, G.R., 2010. Impact of meteorological anomalies in the 2003 summer on Gross Primary Productivity in East Asia. Biogeosciences, 7, pp.641-655.
- Takeuchi, W., Darmawan, S., Shofiyati, R. Khiem, M.V., Oo, K.S., Pimple, U. and Heng, S. 2015 Near-real time meteorological drought monitoring and early warning system for croplands in Asia. Proceedings of the 36th Asian Conference on Remote Sensing, Manila, Philippines.
- Whitcraft, A.K., Becker-Reshef, I., and Justice, C. O., 2015. A Framework for defining spatially explicit earth observation requirements for a Global Agricultural Monitoring Initiative (GEOGLAM). Remote Sensing, 7, pp.1461-1481.