

NDVI 時系列解析を用いた 北タイメーワン流域における高分解能作物分類とその検証

萬和明*・田中賢治・中北英一・池淵周一

* 京都大学大学院工学研究科

要 旨

筆者らが独自に提案している NDVI 時系列解析による作物分類・農事暦作成手法は、対象が全球で空間分解能 1 度、時間分解能 1 ヶ月である。そこで、より詳細なデータセット作成を目的とした農地情報取得調査を北タイメーワン流域で実施し、前述の手法を適用・検証した。調査項目は作付け作物・生育期間・灌漑実施の有無である。作物分類は MODIS/Terra NDVI（空間分解能 250m）を使用し、この手法が高分解能 NDVI でも適用可能であることを確認した。

キーワード：NDVI, MODIS, 時系列解析, 作物分類, 農事暦, Mae Wang basin

1. 序論

今世紀は「水の世紀」と言われており、地球規模での水問題が注目されている。地球温暖化が原因とされる降水パターンの変化や、局地的な洪水や渇水への対策、農業用水や生活用水の安定供給といった水資源管理が問題となっている。我々が直面しているこのような水災害、水資源問題の解決のためには、降水分布予報等の気象予測情報の更なる精度向上が求められている。

近年、土壌水分が大気・地表面間のエネルギー・水収支を通して、気候形成やその変動に寄与することが明らかとなってきた（例えば Koster et al., 2004）。土壌水分量の変動状況を把握することができれば、効果的に気象予測精度を向上させることができると考えられる。そこで、陸面過程モデルのオフラインシミュレーションによって土壌水分量分布を算出するというプロジェクト、GSWP2 (the 2nd Global Soil Wetness Project: Dirmeyer et al., 2002) が実施されている。

Yorozu et al. (2005) は、灌漑モデルが組み込まれた陸面過程モデル SiBUC (Simple Biosphere including Urban Canopy: Tanaka, 2004) を用いて GSWP2 に参加している。灌漑地域では、灌漑を実施しなければ作物の生

育に対して土壌水分量が不足し、それにとまって蒸発散量が減少するため、地表面水・熱収支は大きく変化するという結果が得られている。したがって、水循環という視点からすれば、水資源問題解決のためのみならず、気象予測精度向上のためにも、灌漑操作が水・熱収支へ与える効果を見捨てることはできないと結論づけられている。

筆者らは、GSWP2 の枠組みで灌漑を考慮したモデル計算を実施するため、衛生リモートセンシングデータから算出される正規化植生指標 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) を活用した指標から、作物の農事暦と作物分布を全球規模で算出する手法を考案した（萬ら, 2005）。同手法を用いることで、北米のコーンベルトを精度よく抽出できたことから、NDVI によるフェノロジーの特徴が作物種の判定や農事暦の推定に有効であると考えられる。しかし、作成に用いた GSWP2 データセットは月別の空間解像度 1 度データであり (Hall et al., 2004), 解像度が粗いために複数の作物や自然植生の混在による精度低下や、多毛作への十分な対応ができないなどの問題点があり、判定不能な場所や誤判定となる場所が存在した。そのため、より詳細な時空間分解能を保持した NDVI データセットを用いれば、さらなる精度

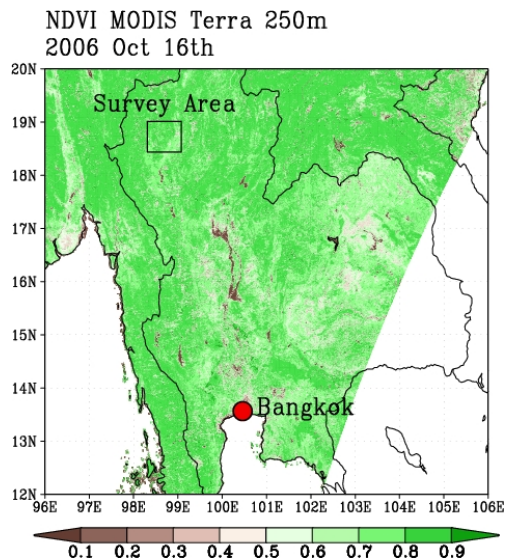


Fig. 1 This map shows survey area. NDVI in 16th, Oct, 2006 around Thailand is also indicated.

向上が期待されるとも指摘されている。

そこで、本稿では、より詳細なデータセット作成を目的とした農地情報取得調査を実施し、NDVI 時系列解析手法を適用・検証した結果を報告する。農地調査は北タイメーワン流域および周辺域で実施した。Fig. 1 に調査領域の位置を示す。メーワン流域は、全球地球観測システム (Global Earth Observation System of Systems: GEOSS) 10 年実施計画の枠組みの中で、水資源管理システムに関して、GEOSS のモデルケースとなる統合観測システムのプロトタイプ構築が進められている地域である。したがって、本研究の水資源管理への応用や発展可能性から、メーワン流域を調査地点とした。

本稿では、はじめに NDVI 時系列解析による作物分類手法を概説し、メーワン流域への適用と検証について述べる。

2. NDVI 時系列解析による作物分類手法

植物の緑素は太陽光のうち青領域と赤領域の波長の波を吸収し、緑領域の波長の波を反射し、また、近赤外線領域の波長の波を強く反射する。このような植生の特徴を生かして衛星リモートセンシングデータを使い算出される正規化植生指数が NDVI である。以下にその算出式を示す。

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} \quad (1)$$

ただし、 IR は近赤外線領域の反射率を、 R は可視の赤領域の反射率を示している。

ところで、可視・赤外センサは雲の影響を強く受

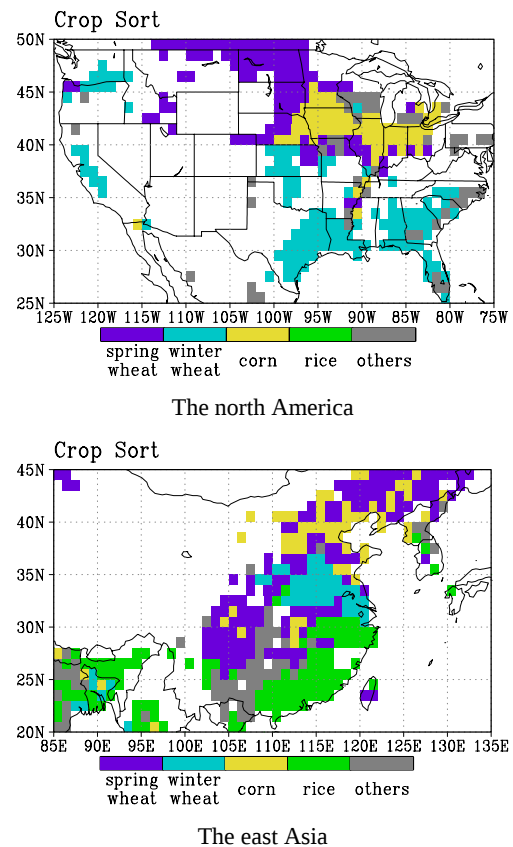


Fig. 2 Spacial distribution of crop type. Shaded for the grid which has more than 10% of cropland fraction.

けるため、観測される NDVI が低値になることがある。そこで、雲の影響を除去するために用いられる手法が *bise* 法 (Viovy et al, 1992) である。*bise* 法を用いることにより、修正対象時刻の NDVI 値がその前後の時刻の値と比較して不自然に低い値を示している場合、線形内挿による修正が行われる。

萬ら (2005) が作成した作物分類図を Fig. 2 に示し、次項以降に 1 度グリッド月データを用いた作物分類・農事暦作成手法を紹介する。以下で言及される数値は、1 度グリッド月データを用いたときに全球分布を捉える際の値であるので、そのままメーワン流域に適用できるものではない。

2.1 正規化 NDVI

NDVI はグリッドデータとして値が与えられており、作物分類の指標としてそのまま用いると、以下のような原因から作物分類が困難となる。

- グリッドの耕作面積率に応じて NDVI の月変動範囲が異なる。
- NDVI の年変動によって作物が最も活発な時期に値がばらつく。

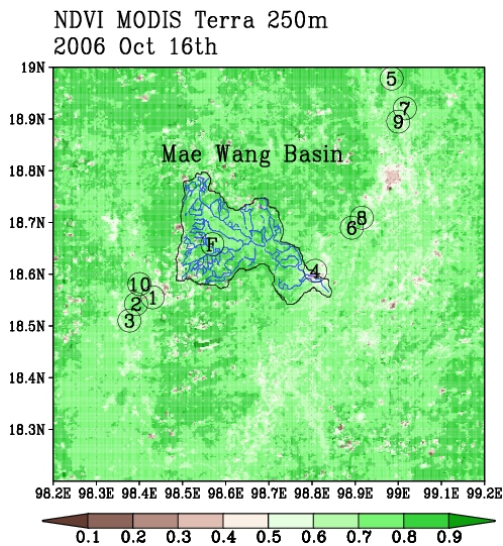


Fig. 3 Survey area and survey point. NDVI in 16th, Oct, 2006 around Thailand is also indicated.

そこで、NDVIの変動範囲を固定するため、NDVIをさらに正規化する。本手法では、NDVI値が最小となる月はグリッドにより様々であることを考慮して、NDVI値が最小となる月をグリッド毎に求め、その月から1年分のNDVI値を正規化したものを指標として新たに定義し、N-NDVIと名付ける。すなわち、グリッドにより正規化開始月が異なるというわけである。N-NDVIの利点は次の通りである。

- 変動範囲が固定されているため、耕作面積率によるNDVI値の違いに対処できる。
- 毎年正規化することにより年変動の影響を受けない。
- 正規化開始月がグリッド毎に異なることにより、作物生育時期の地域差に対応できる。
- 基本的に初期の時系列では低値であるが、次第に増加し最大値1を得た後減少するという「山なり曲線」を描くため、指標として扱いやすい。

2.2 作物分類基準

N-NDVIを用いた作物分類図及び作物の生育期間を定める農事暦作成の基本的考え方は、等しい作物であればN-NDVIの時系列変動は等しく、解析対象期間での各グリッドの作付け作物は一定である、というものである。萬ら（2005）は、全球1度グリッドで春小麦・冬小麦・米・トウモロコシの作物分類にあたり、作物が持つ固有のフェノロジーを表現する基準値を設定し、作物分類を実施した。たとえばトウモロコシは、

Table 1 Crop location and crop calendar

No	POINT	CROP	PERIOD
1	18.51 N, 98.41 E	Corn	May-Oct
2	18.45 N, 98.39 E	Corn	Jun-Oct
3	18.36 N, 98.37 E	Corn	double
4	18.60 N, 98.80 E	Rice	Apr-Jun
		Onion	Jun-Oct
5	18.99 N, 98.98 E	Rice	Apr-Oct
		Potato	Nov-Mar
6	18.69 N, 98.90 E	Fruit	
7	18.92 N, 99.04 E	Fruit	every time
8	18.71 N, 98.91 E	Rice	
9	18.90 N, 99.01 E	Rice	Apr-Oct
		Soy bean	Nov-Mar
10	18.52 N, 98.40 E	Rice	Apr-Oct
		Soy bean	Nov-Mar
F	18.66 N, 98.57 E	Forest	

- 最大月の4ヶ月前に0.36を上回らない。
- 最大月の4ヵ月後に0.19を上回らない。
- 最大月の3ヵ月前が最大月の3ヵ月後を上回る。
- 0.22を下回る月が6ヶ月以下である。

という条件で表現される。

2.3 農事暦の作成

各グリッドにおいて作物の生育期間を推定する。萬ら（2005）は、以下の基準に従って農事暦を作成した。

- 0.30以上になれば生育期間が始まったとみなす。
- 0.65を下回れば生育期間の終了とする。
- 2ヶ月以上0.65を下回り、再び0.65以上の値をとるときは、二期作の始まりとみなす。
- N-NDVI値が0.65を下回る期間が1ヶ月だけのときには生育期間が続行していると判断する。

3. フィールド調査

NDVI時系列解析による作物分類手法は、作物が固有のフェノロジー形状を有するという特徴を利用したものである。そのため、作物分類の精度向上には、作物毎のフェノロジーの特徴を的確に捉え、2.2で定義されるような基準を作成する必要がある。そこで、作物の位置情報（緯度・経度・作物種）や農事暦情報の収集を目的としたフィールド調査を実施した。



(1) Corn (18.51N, 98.41E)



(2) Corn (18.45N, 98.39E)



(3) Corn (18.36N, 98.37E)



(4) Rice&Onion (18.60N, 98.80E)



(5) Rice&Potato (18.99N, 98.98E)



(6) Fruit (18.69N, 98.90E)



(7) Fruit (18.92N, 99.04E)



(8) Rice (18.71N, 98.91E)



(9) Rice&Soy (18.90N, 99.01E)



(10) Rice&Soy (18.52N, 98.40E)



Under investigation



Cooperators in survey

Fig. 4 Landscape of survey point

調査は2006年10月22日から23日にかけ、主にタイ北部、メーワン流域で実施し、多くの作物種情報を得るため、流域周辺も調査対象とした。Fig. 1の調査地域を拡大して、メーワン流域と調査地点をFig. 3に示す。同図には、調査時におけるNDVI値をあわせて示している。

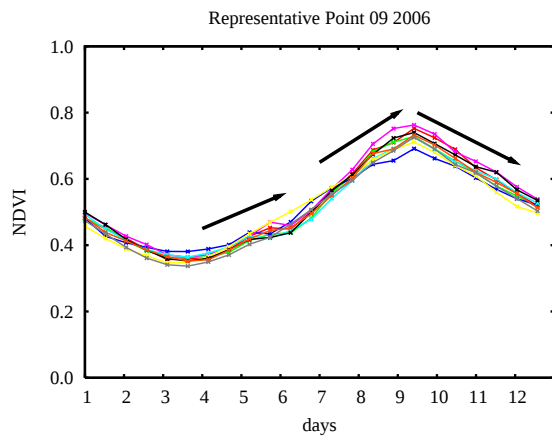
2日間にわたる聞き取り調査の結果、10地点において、作物種、灌漑実施状況と生育期間の情報を収集した(Table 1)。本研究では、作物分類と同時に耕作地かどうか判断するため、代表的な森林の位置情報を地点Fとして同表に示しておく。また、Fig. 4に

調査地点の風景と調査風景を示す。調査時は雨季の終わりにあたり、地点1, 2では収穫の現場に遭遇することができた。地点4, 5では収穫直後であり、二毛作目の作付けを準備している最中であつた。

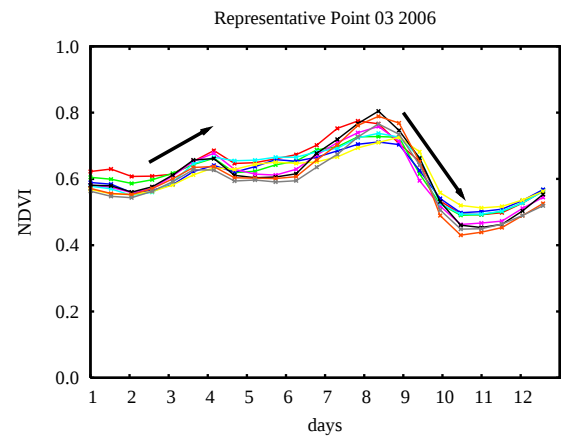
4. NDVI 時系列解析手法の適用と検証

4.1 MODIS/Terra NDVI

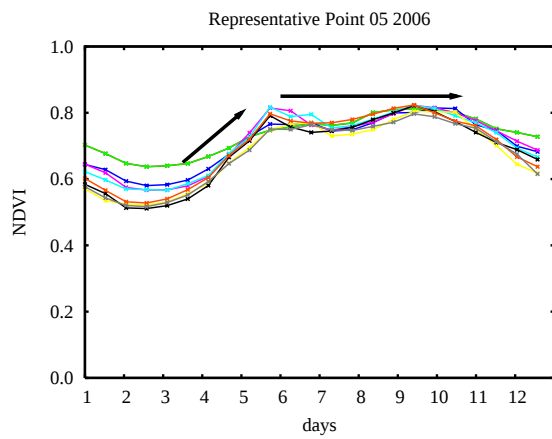
本研究で用いるNDVIデータセットは、空間分解能250m、時間分解能16日のMODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) NDVIデータである。MODIS



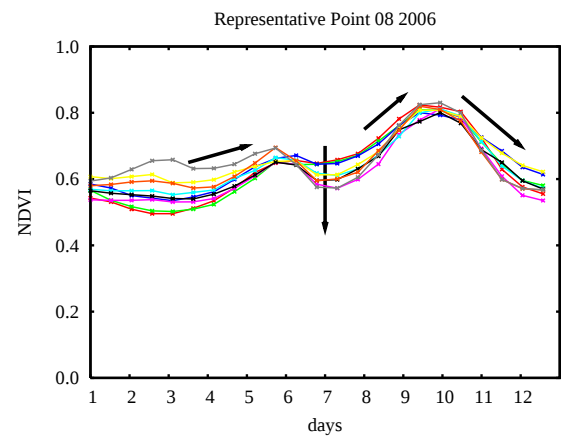
(2) Corn



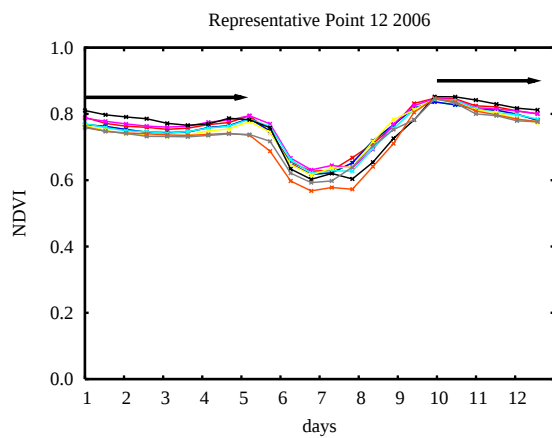
(4) Rice&Onion



(7) Fruit



(10) Rice&others



(F) Forest

Fig. 5 The time series of NDVI.

センサは Terra 衛星と Aqua 衛星に搭載されているが、本研究では Terra 衛星によって観測された NDVI データを用いる。MODIS/Terra NDVI データは、The Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) の Earth Observing System Data Gateway を活用してダウンロードできる。利用可能なデータは 2000 年から現在

までのデータセットである。

本研究では、

- 対象領域が狭く、生育期間に顕著な差がない。
- 作付け作物の経年変化はない。

という仮定に基づき、N-NDVI ではなく NDVI を用

い、さらに、2000年から2006年までの7年間の平均値を用いて解析を実施する。

4.2 作物分類

Fig. 5 に各々の地点とその周囲 8 グリッドの、計 9 グリッド分の NDVI 時系列を示す。同図には、森林・トウモロコシ・米と玉葱の二毛作・米と大豆などの二毛作・果樹の 5 種類の NDVI 時系列を示している。米と大豆の二毛作地点の NDVI 時系列と、米とジャガイモの二毛作地点の NDVI 時系列との差異を抽出することはできなかったため、これらをあわせて米と大豆などの二毛作として扱うことにした。

以下にそれぞれの作物分類基準を示す。

(1) 森林

1 から 7 番目、20 から 23 番目までの NDVI 値に対して

- 平均値が 0.75 以上
- 最大値が 0.65 以上 または 最大値と最小値の差が 0.15 以下

(2) トウモロコシ

- $N_7 \leq N_8 \leq N_9$
- $N_{14} \leq N_{15} \leq N_{16}$
- $N_{19} \geq N_{20} \geq N_{21}$

ここで、 N_i は i 番目 $((i-1) \times 16 + 1$ 日から $i \times 16$ 日までのコンポジット) の NDVI 値を示す。以下、同様に表記する。

(3) 米と玉葱の二毛作

- $N_4 \leq N_5 \leq N_6$
- $N_{16} - N_{18} \geq 0.10$

(4) 米と大豆などの二毛作

- $N_6 \leq N_7 \leq N_8$
- $N_{14} \leq N_{15} \leq N_{16}$
- $N_{18} \geq N_{19} \geq N_{20}$
- $0.70 \leq N_{16}^{19} \leq 0.85$
- $N_{11}^{13} \leq 0.75$ または $N_{18} - N_{20} \geq 0.10$

ここで、 N_i^j は、 i 番目から j 番目までの平均 NDVI 値を示す。以下、同様に表記する。

(5) 果樹

- $N_8 \leq N_9 \leq N_{10}$
- $0.70 \leq N_{10}^{17} \leq 0.85$
- $N_{11}^{13} \geq 0.75$
- $N_{18}^{20} \geq 0.85$

以上のように定義された作物のフェノロジーを特徴付ける基準に従って作物分類した結果を Fig. 6 に示す。

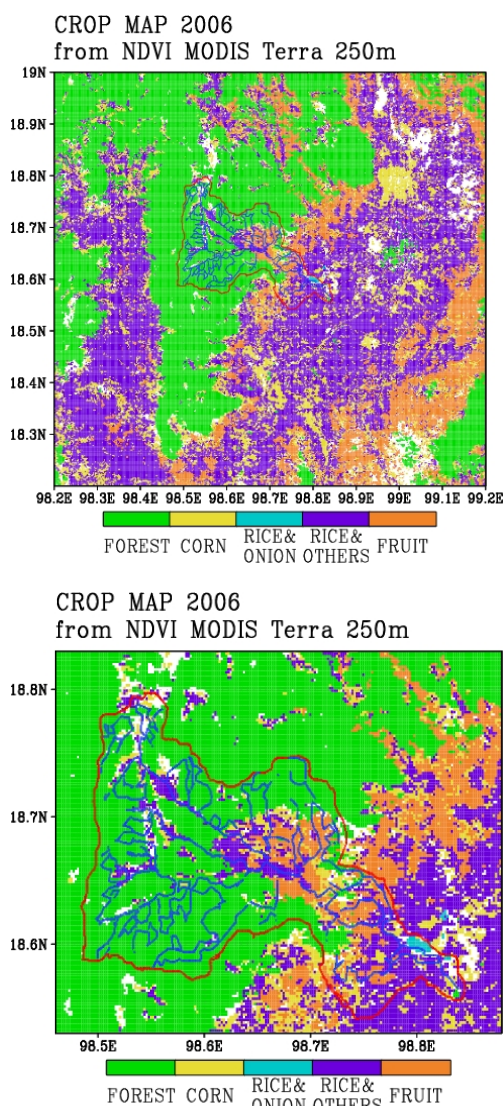


Fig. 6 Created crop map through time series analysis of NDVI.

4.3 検証

既存の作物分類プロダクトとして、MODIS/Terra による 1km 格子の土地利用区分データが、NASA によって公開されており、NDVI データと同様、LP DAAC の Earth Observing System Data Gateway からダウンロードできる。Fig. 7 に、最新版である 2004 年のデータを示す。同図によると、メーワン流域の土地利用はほとんどが森林であり、サバンナが若干広がっているほかは、わずかに耕作地が存在するのみである。しかし、タイ国の 2000 年の土地利用計画（沖ら、2006）によると、下流域に米穀地帯、中流域に果樹、そして上流域は耕作地にする計画であったことが見て取れる (Fig. 8)。従って、MODIS/Terra による土地利用データでは、メーワン流域のような小領域における土地利用区分を詳細に表現できていないと判断できる。

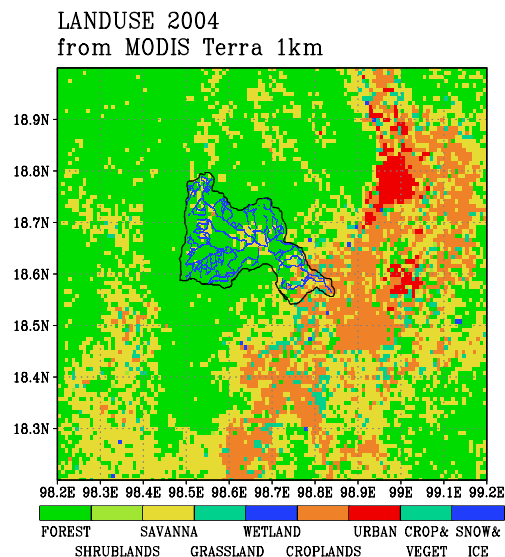


Fig. 7 Landuse created from MODIS/Terra by NASA

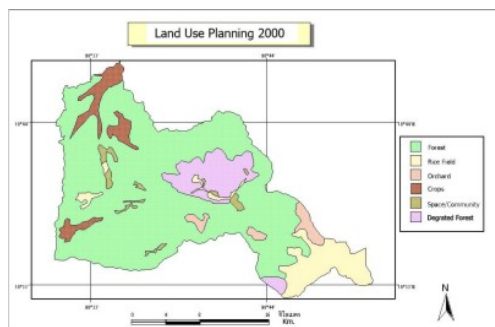


Fig. 8 Landuse plan in Mae Wang basin

Fig. 6 と Fig. 8 と比較すると、下流域は米、中流域は果樹に分類されており、本研究による作物分類によってこれらの地域がよく抽出できていると考えられる。また、詳細な現地調査から、NDVI 時系列解析手法を用いて二毛作を分類することができたことが、本研究の大きな成果といえる。若干分類不可な領域も残ってしまったことが課題としてあげられる。また、作付面積の統計データなどを用いたさらなる検証が急務である。

5. 結論

農地情報取得現地調査に基づいて、筆者らが独自に提案している NDVI 時系列解析を北タイメーワン流域に適用した。その結果、この手法が高分解能 NDVI でも適用可能であることが確認された。筆者らがこの手法を考案・作成した作物分布は 1 度グリッドでしかなく、メーワン流域は単一作物と判断されており、MODIS/Terra による土地利用分布データは 1km メッ

シュではあるが、メーワン流域の耕作地をサバンナと分類していたことをふまえると、北タイメーワン流域周辺域において、250m メッシュの作物分布図を作成できたことは、非常に意義深い。250m メッシュデータは、水資源管理問題へのインプットデータとしては十分な分解能を有しており、今後の本プロダクトの応用利用が期待される。最後に、統計データを活用したデータ検証と、他地域への適用を課題としてあげ、本稿の結論とする。

謝 辞

タイ王立灌漑局 Thada Sukhapunnaphan 氏, Jaorin Kongrak 氏, Chai Lrmsak 氏にはフィールド調査で多大な尽力とご協力を頂きました。また、筆者は(独)日本学術振興会特別研究員 DC であり、本調査は科学研究費補助金特別研究員奨励費 820063600003 によって実施されました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- Dirmeyer, P., Gao, X., Oki, T. (2002): The second global soil wetness project (GSWP-2) science and implementation plan, IGPO Publication Series No.37.
- Hall, F.G., B.Meeson, S.Los, L.Steyaert, E.Brown de Colstoun, D.Landis, eds.ISLSCP Initiative II. NASA. DVD/CD-ROM.NASA, 2004.
- Koster, R.D., P.A.Dirmeyer, et al. : Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation, science, vol.305, pp.1138-1140, 2004.
- Tanaka, K. (2004): Development of the new land surface scheme SiBUC commonly applicable to basin water management and numerical weather prediction model, doctoral dissertation, Kyoto University.
- Viovy, N., O.Arino: The best index slope extraction (BISE): A method for reducing noise in NDVI time series, Int.J.Remote Sensing, Vol.13, No.8, pp.1585-1590, 1992.
- Yorozu, K., Tanaka, K., Ikebuchi, S. (2005): Creating a global 1-degree dataset of crop type and cropping calendar through the time series analysis of NDVI for GSWP2 simulation considering irrigation effect, Proc. of 85th AMS Annual Meeting, 19th conference of Hydrology, 6.8. (CD-ROM)
- 沖大幹他：地球観測システム構築推進プラン（テーマ 2-2）アジアモンスーン域での水循環・気候変動に関する観測研究又は技術開発「地球観測に

よる効果的な水管理の先導的実現」平成17年度
研究成果報告書，2006.

萬和明，田中賢治，池淵周一：NDVI時系列解析によ
る全球作物分類図の作成，水工学論文集，第49
巻，pp379-384，2005.

Creation and Validation of High Resolution Crop Type Map of Mae Wang basin in Northern Thailand Using the Time Series Analysis of NDVI

Kazuaki YOROZU*, Kenji TANAKA, Eiichi NAKAKITA and Shuichi IKEBUCHI

*Graduate school of engineering, Kyoto University

Synopsis

Through the time series analysis of NDVI, the global distributions of crop type and cropping calendar have been created. Regarding differences of NDVI shape as phenology which shows characteristics of crop, croplands are classified into various crop types. In this sense, this isn't applicable to mixture area of many crop types or landuse. Thus, the field survey of the information about cropland (crop type, location and cropping calendar) of Mae Wang basin in northern Thailand is conducted. Using the result of this survey for creation and validation, high resolution crop type map is created through the time series analysis of NDVI.

Keywords: NDVI, MODIS, time series analysis, crop map, crop calendar, Mae Wang Basin