

衛星解析によるアジア域の農地データセットの作成 および水資源管理支援

Creation of Asian Cropland Dataset through Satellite Data Analysis toward Water Resources Management

田中 賢治^{1,6}, 小尻 利治¹, 宝 馨¹, 中北 英一^{1,6}, 林 泰一^{1,6},
河野 泰之^{2,6}, 米澤 剛², 田村 正行³, 渡辺 紹裕⁴, 甲山 治⁵

Kenji TANAKA^{1,6}, Toshiharu KOJIRI¹, Kaoru TAKARA¹, Eiichi NAKAKITA^{1,6},
Taiichi HAYASHI^{1,6}, Yasuyuki KONO^{2,6}, Go YONEZAWA², Masayuki TAMURA³,
Tsugihiko WATANABE⁴, and Osamu KOZAN⁵

¹京都大学 防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

²京都大学東南アジア研究所

Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University

³京都大学大学院地球環境学堂

Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University

⁴総合地球環境学研究所

Research Institute for Humanity and Nature

⁵山梨大学大学院 医学工学総合研究部

Interdisciplinary Graduate School of Medicine and Engineering, University of Yamanashi

⁶京都大学生存基盤科学研究ユニット

Institute of Sustainability Science

In this study, realistic and high resolution mapping of crop type and farming calendar is attempted through phenology analysis of satellite data together with various knowledge from area study in Asia. In FY2006, field survey for collecting cropland information was conducted in Mae Wang basin in northern Thailand. According to this field survey, typical annual NDVI cycle of various croplands (rice, corn, fruit, etc.) can be defined for crop type classification. And high resolution crop type map was created through the time series analysis of MODIS/Terra NDVI. Furthermore, field survey in Kysilqum desert in Uzbekistan is reported.

Key Words : NDVI, MODIS, time series analysis, crop map, farming calendar, field survey

1. はじめに

現在、世界の水消費の約 85%は農業用水であり、農作物の約 40%は灌漑で栽培されている。灌漑の効果を扱う陸面過程モデルは既にいくつか存在するが、モデルパラメータ(生育作物の種類、農事暦)を正しく設定しなければ、モデルの性能を十分に発揮することはできない。しかしながら、特に大部分の灌漑農地が存在するアジア域で信頼性の高いデータセットは存在せず、早急に整備する必要がある。萬ら(2005)¹⁾では衛星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、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。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、用いた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)²⁾、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、さらなる精度向上が期待されるとも指摘されている。

本研究課題では衛星データによる植生フェノロジー解析をベースとして、アジア各地の地域研究で培われてきた気候条件、農業形態、水利形態等に関する様々な知見を融合することで、より現実的な作物種や農事暦(生育期間)の空間分布情報を高解像度で整備すること、さらには、灌漑必要水量や土壌水分等をはじめ、様々な陸面水文諸量を全球規模で算定し、アジア諸国の様々な流域の水管理や地域研究の支援情報を提供することを目的としている(図1)。本研究課題は、ほぼ同じ目的で同じく平成18年度より採択された科学研究費基盤研究A「衛星解析による全球灌漑農地情報と陸面水・熱収支解析を活用した水資源管理支援」(池淵周一教授代表)と連携しながら、現地調査やデータ解析を進めている。平成18年度は中央アジア・アラル海流域(ウズベキスタン・キジルクム砂漠)およびタイ北部(メーワン流域および周辺域)で実施した農地情報取得調査(作付け作物・生育期間・灌漑実施の有無)ならびに高分解能NDVIデータ解析による作付け作物分類、灌漑農地の抽出について得られた結果を報告する。

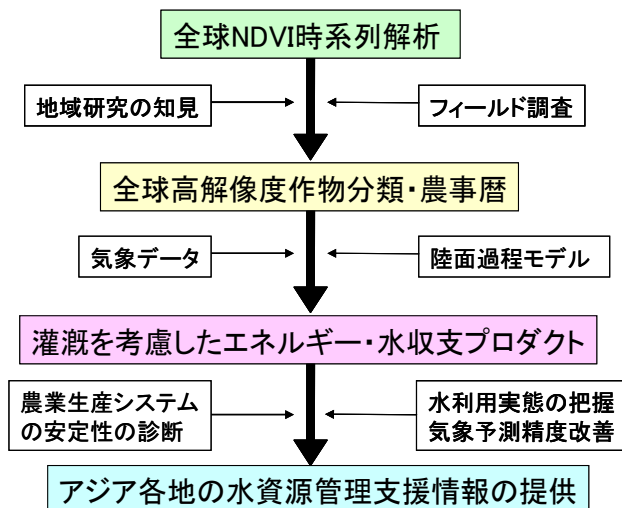


図1 研究計画全体のフロー図

図1 研究計画全体のフロー図

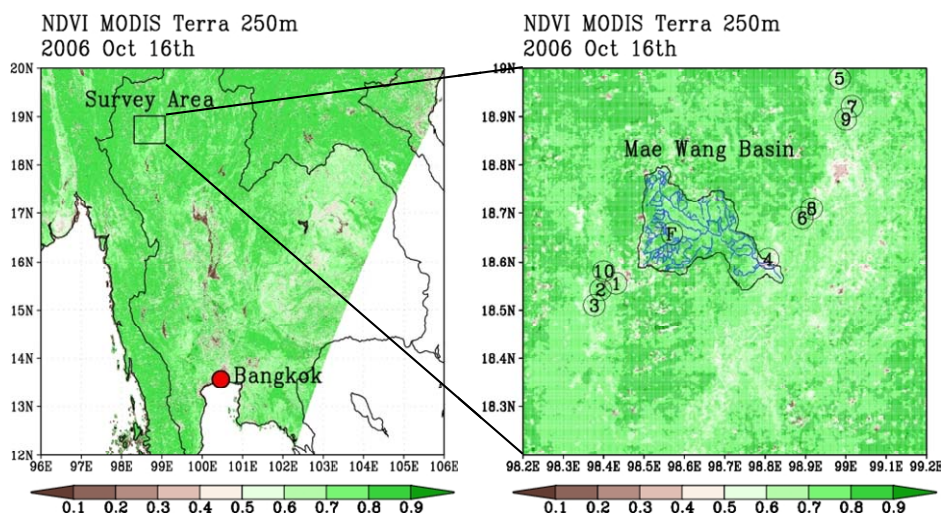


図2 農地分布調査対象域(タイ北部, メーワン流域)と調査地点

2. タイ北部における農地調査

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ら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。調査は2006年10月22日から23日にかけて、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(図2)。同図には、調査時におけるNDVI値をあわせて示している。メーワン流域は、全球地球観測システム(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り(沖ら, 2006)³⁾、本研究のプロダクトの水資源管理への応用や発展可能性が見込まれる。

表1 農地の位置と作付期間

地点	緯度	経度	作物	作付期間
1	N18.51	E98.41	トウモロコシ	5月-10月
2	N18.45	E98.39	トウモロコシ	6月-10月
3	N18.36	E98.37	トウモロコシ	二期作
4	N18.60	E98.80	コメ	4月-6月
			タマネギ	6月-10月
5	N18.99	E98.98	コメ	4月-10月
			ジャガイモ	11月-3月
6	N18.69	E98.90	果樹	通年
7	N18.92	E99.04	果樹	通年
8	N18.71	E98.91	コメ	
9	N18.90	E99.01	コメ	4月-10月
			大豆	11月-3月
10	N18.52	E98.40	コメ	4月-10月
			大豆	11月-3月
F	N18.66	E98.57	森林	通年

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（表 1）。本研究では、作物分類と同時に耕作地かどうかを判断するため、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、写真 1 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。



(1) トウモロコシ (N18.51,E98.41)



(2) トウモロコシ (N18.45, E98.39)



(3) トウモロコシ (N18.36, E98.37)



(4) コメ+タマネギ (N18.60,E98.80)



(5) コメ+ジャガイモ (N18.99, E98.98)



(6) 果樹 (N18.36, E98.37)



(7) 果樹 (N18.92,E99.04)



(8) コメ (N18.71, E98.91)



(9) コメ+大豆 (N18.36, E98.37)



(10) コメ+大豆 (N18.52,E98.40)



調査風景



現地調査の協力者

写真 1 農地調査地点の風景

3. NDVI 時系列解析手法の適用と検証

(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 NDVI データである。MODIS 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 年以降であり、本研究では 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。また本研究では、対象領域が狭く、生育期間に顕著な差がないため、萬ら(2005)¹⁾で使用した N-NDVI ではなく、NDVI をそのまま活用する。

(2) 作物分類

図 3 に各調査地点とその周囲 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、トウモロコシ、米と玉葱の二毛作、果樹、米と大豆の二毛作、森林の 5 種類の NDVI 時系列を示している。なお、米と大豆の二毛作地点と、米とジャガイモの二毛作地点では NDVI 時系列の差異を抽出することはできなかったため、以後はこれらをあわせて「米と大豆などの二毛作」として扱うことにする。これらの NDVI 時系列の形状の特徴から、以下のようにそれぞれの作物の分類基準を設定した。

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

トウモロコシ

- $N_7 < N_8 < N_9$
- $N_{14} < N_{15} < N_{16}$
- $N_{19} > N_{20} > N_{21}$

ここで、 N_i は i 番目(DOY で $(i-1) \times 16 + 1$ 日から $i \times 16$ 日までのコンポジット)の NDVI 値を示す。

米と玉葱の二毛作

- $N_4 < N_5 < N_6$
- $N_{16} - N_{18} > 0.10$

米と大豆などの二毛作

- $N_6 < N_7 < N_8$
- $N_{14} < N_{15} < N_{16}$
- $N_{18} > N_{19} > N_{20}$
- $0.70 < N_{16-19} < 0.85$
- $N_{11-13} < 0.75$ または $N_{18} - N_{20} > 0.10$

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。

果樹

- $N_8 < N_9 < N_{10}$
- $0.70 < N_{10-17} < 0.85$
- $N_{11-13} > 0.75$
- $N_{18-20} > 0.85$

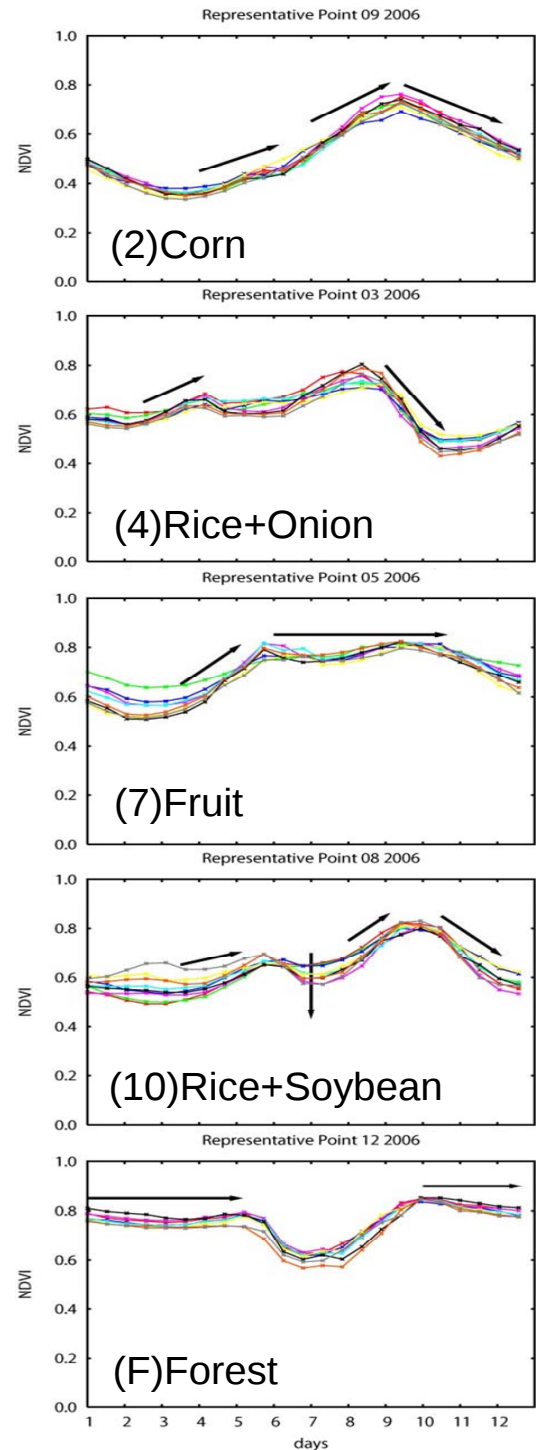


図 3 各調査地点の NDVI 時系列

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図 4 に示す。

(3) 作物分類結果の検証

既存の MODIS/Terra による土地利用区分プロダクトとして、1km 格子のデータが、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。図 5 に、最新版である 2004 年のデータを示す。このプロダクトではそもそも農耕地の分類区分数が少ないという問題があるが、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 年の土地利用計画図（図 6）によると、下流域に米作地帯、中流域に果樹、そして上流域は耕作地となっている。従って、既存の MODIS/Terra による土地利用プロダクトでは、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。

図 4 を図 6 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。一方、若干ではあるが、分類不可な領域（図 4 中の白色の部分）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。

以上本研究では、農地情報取得現地調査に基づいて、NDVI 時系列解析による作物分類基準を設定し、タイ北部の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。MODIS/Terra による既存の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や果樹の多くをサバンナと分類していたことをふまえると、本研究により、より現実的な作物分類図を 250m メッシュで作成できたことは、非常に意義深い。この地域で展開されている GEOSS プロジェクト³⁾を通じて、水資源管理支援情報として本研究で作成された作物分類図の利用を図りたい。

4. アラル海流域・キジルクム砂漠における現地調査

2006 年 10 月より ICBA (International Center for Biosaline Agriculture ; 塩水を使用した乾燥域農業システム構築) プロジェクトと共同でウズベキスタン・キジルクム砂漠に点在し温水が自噴するオアシスにおいて観測サイトを立ち上げた。北緯 41 度 4.389 分、東経 64 度 52.809 分の井戸を中心に、200m 四方で塩水を利用した灌漑農業が行われており、夜間の気温が 5℃を下回らなくなる 5 月頃から本格的に作付けを開始する。3 月下旬の畑には、家畜にとって食用かつ薬草の効果を持つメディカゴサティーバが植わっていた。

現在はオアシス周辺の乾燥地において水・熱フラックス、気圧、温湿度（3 高度）、風速・風向、降水、放射収支、光量子計（上下）、土壌水分・地温（4 深度）および地下水位データを取得している（写真 2）。

また国土交通省富士川砂防事務所管内で使われていた

CROP MAP 2006
from NDVI MODIS Terra 250m

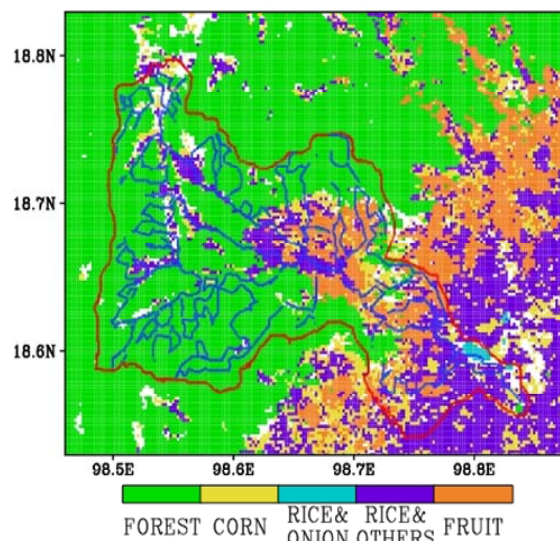


図 4 本研究で作成された作物分類図

LANDUSE 2004
from MODIS Terra 1km

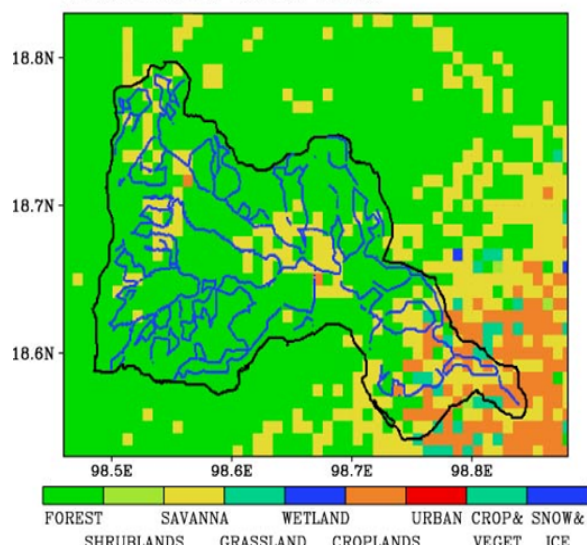


図 5 既存の土地利用区分プロダクト

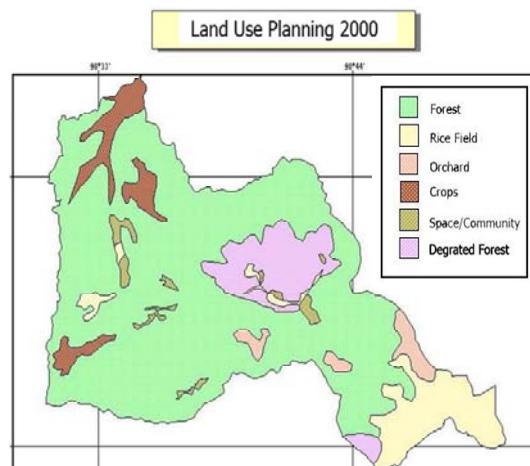


図 6 メーワン流域の土地利用計画図

雨量計 18 台をもらい受け、順次現地に移設している（現在は 3 台）。さらには京都大学森林水文学研究室と共同で葉の同位体分析を用いた植生の水利用効率の推定を行っており、陸面過程モデルに適用可能な蒸散パラメータの推定、および植生の分布と土壌水分および塩分濃度の関連性に関しても解析を進めている。

図 7 はキジルクム砂漠周辺の塩害分布を示しており、地下水位と深く関連している。そこで図 8 に示すように全長 4km ほどの実験サイトを設置し、塩害・地下水位・放牧の影響等を元に 5 つの地域に分類して植生観測を ICBA と共同で行っている。植生（アルテミシア、ハロキシロン、タマリクス等）の分布は土壌水分・塩分濃度の両者と関連しており、図 9 のように分類される。現在は自噴井戸と集落が存在するサイトから 2km ほど離れたアルテミシアが卓越する地点で観測とモデル化を行っており、今後は井戸周辺の灌漑農地と塩害地でのフラックスと地下水位観測を計画している。また取得したデータおよび構築したモデルをより広域に適用するために、2007 年 3 月よりスペクトロメータ（Field Spec3）を用いた土地利用ごとの反射率特性と塩分・土壌水分の分布を観測しており（写真 3）、MODIS および ASTER データと対応させながらキジルクム砂漠における土地被覆分布を解析している。

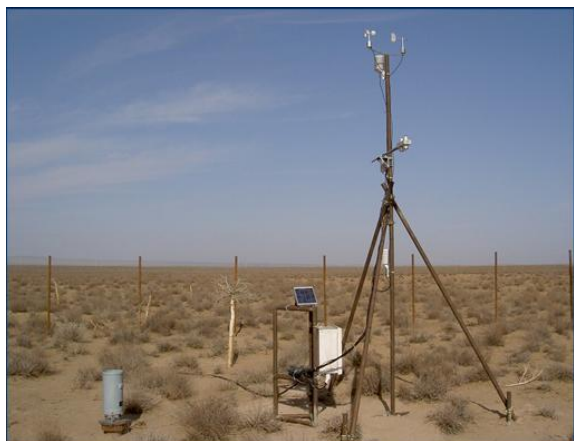


写真 2 キジルクム砂漠のフラックス観測サイト

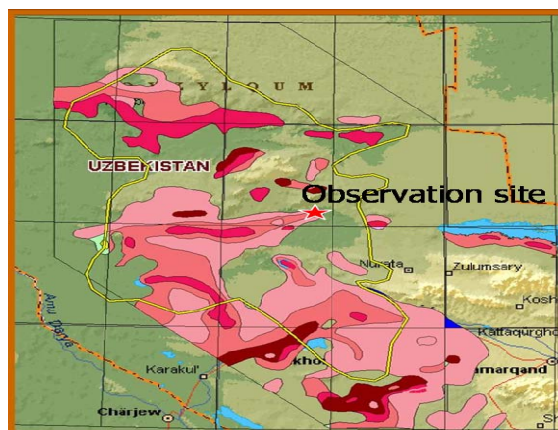


図 7 キジルクム砂漠の塩害分布
(濃い赤ほど深刻、☆は実験農場)



写真 3 スペクトロメータ観測の様子

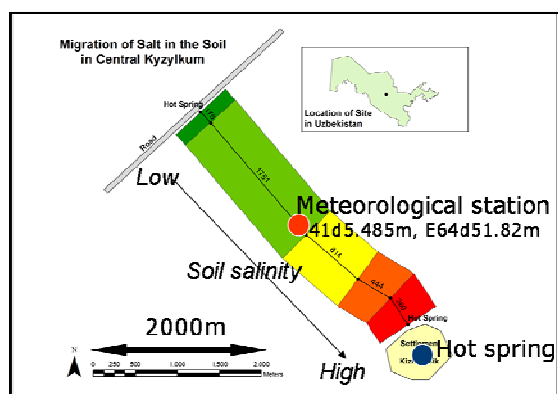


図 8 植生観測実験サイト
(赤丸：気象観測点、青丸：自噴井戸)

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.

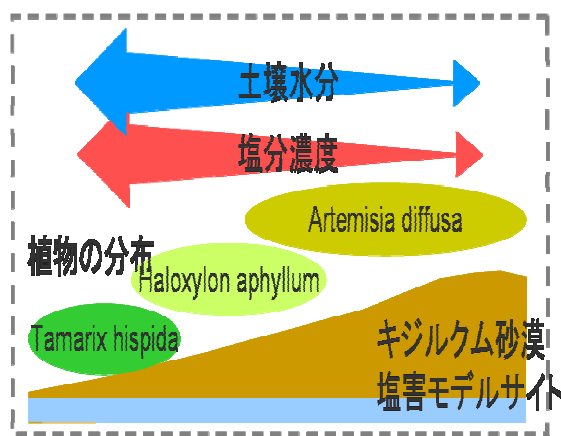


図 9 植生と土壌水分・塩分の関係