

(一般社団法人)日本リモートセンシング学会 九州支部 2021 年度研究発表会

日時：2022 年 2 月 22 日(火) 14:00 - 15:00 (オンライン開催)

プログラム

- | | |
|---|---|
| 14:00: 筑後川流域の農地分類, 半田大典, 森山雅雄(長崎大) | 1 |
| 14:15: バングラデシュ・テクナフ半島の森林消失地域の同定, 北原孝志郎, 森山雅雄(長崎大) | 3 |
| 14:30: ケニア・ウィナム湾におけるアオコ・ホテアオイの検知,
前田涼太郎, 森山雅雄(長崎大) | 5 |
| 14:45: Agricultural crop monitoring in north Syria using LANDSAT8 imagery,
Osama AKAK, Masahiro Tasumi (U. Miyazaki) | 7 |

筑後川流域の農地分類

長崎大学 半田大典、森山雅雄

1 本研究の目的・背景

現在筑後川流域の農地では、米、小麦、大豆が主として栽培されており、場所によってさまざまな利用をしている。単作地や輪作をしない耕作地は毎年同じ農薬を利用するため昆虫などが死んでしまう。昆虫は最も多様性に富んでおり昆虫が死んでしまうことで食物連鎖が崩れ生物の多様性が失われてしまう。その現象を避けるために輪作をしている土地も多く存在する。本研究では合成開口レーダから得られた後方散乱係数の時系列データをクラスタリングし、Sentinel-2やGoogle Earthを用いてその土地がどのように農地利用しているかを調査し、どの場所が輪作地として利用されているかを示すことを目標として行った。

2 衛星からの植生モニタリング

2.1 分光反射特性と変動変動

図1に示すように物体はそれぞれ固有の分光特性を持っており、中でも植物は、可視(0.4~0.7 μm)の範囲では0.55(緑)付近に反射率のピークが存在している。これは、葉中の緑体が太陽光のうち、青と赤の波長の光を強く吸収し、その結果緑の波長の光が相対的に強く反射されるためである。植生の検出を行う場合、このような分光特性やNDVIを用いる。しかし一年間、同じ場所に同じように植生が存在する訳ではなく、図2-2-2に示すように、播種から収穫までの間に葉の量や大きさが大きく変動する。

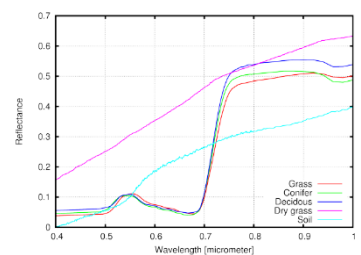


図 1 物体の反射率

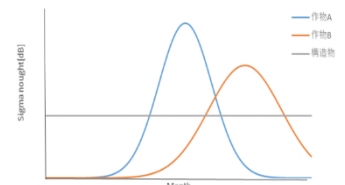


図 2 農作物における葉の数や大きさの変化

3 分類方法

3.1 分類方法

農作物は、播種から収穫までの間に後方散乱係数が大きく変化する。また、農作物の種類によってその変化パターンが違っているため、合成開口レーダから得られた後方散乱係数の一年分の時系列データを独立変数として分類する。

3.2 クラスタリング

クラスタリングは分類した集団の内部をさらに小さな集団に段階的に分類していく階層的な手法と、全体をいくつかの集団に分類する非階層的な手法がある。本研究では、非階層的な手法である ISODATA 法を用いて、分類クラスを決定し、最尤法により全画素の分類を行った。

3.3 ISODATA 法・最尤法

ISODATA 法は k 個のクラスターの平均値を使って画像を分類する方法で、最尤法は、セルごとにすべてのクラス確率を計算して、確率が最も高いクラスにセルを割り当てる方法である。図解を図3-3-1に示す。

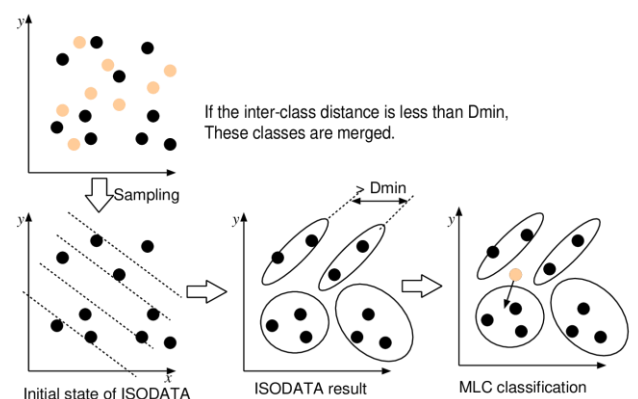


図 3 ISODATA 法と最尤法

4. 利用データ

4.1 Sentinel-1搭載Cバンド合成開口レーダ

合成開口レーダ(SAR: Synthetic Aperture Rader)は、衛星からマイクロ波を斜方射出し、地表からの反射波の強弱を画像化する。表面が平滑であれば鏡面反射により反射波は極めて小さいが、表面粗度が大きければ乱反射により反射波は大きくなる。この反射強度は表面粗度に対応しており、その大小で地形や地物を判別する。合成開口レーダの観測原理を簡略化したものを図4に示す。

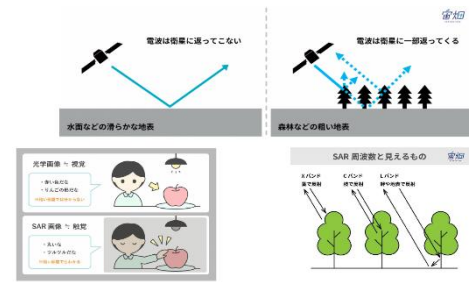


図4 合成開口レーダ計測原理

4.2 Sentinel-2/MSI

ESA が コペルニクス計画 の一環として開発している地球観測ミッションであり、森林監視や土地被覆変化の検出、自然災害対策などの事業を支援するような地表観測を行う。同一仕様の2機の衛星 Sentinel-2A と Sentinel-2B から構成され、両機とも光学センサである MSI (multispectral imager)を搭載している。

5 分類に用いたクラスタリング条件と結果

ISODATA 法の利用で、初期クラスを100に設定し、クラス結合条件は0.650~0.730を0.001刻みで実行し、後段の最尤法で得られた分類結果の Rejection probability の平均値が最小となる結合条件での分類結果を採用した。その後、各クラス重心、つまり地表面粗度の時間的変化特性をもとに、Google earth, Sentinel-2, 現地観測写真をもとに、クラスの意味付けを行い、2018-2021の農地分類結果を得た。筑後川流域の農地は、麦または牧草、イネと麦の二毛作、大豆と麦の二毛作に分類できることが明らかとなった。結果を図5に示す。

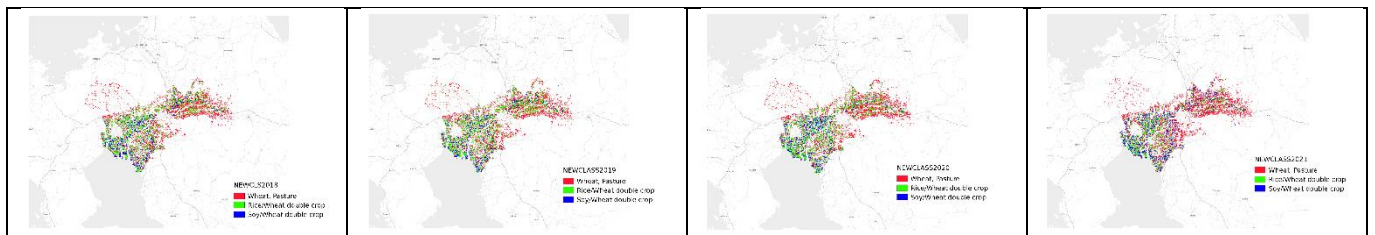


図5 分類結果

6 まとめ

本研究では、農地分類のために合成開口レーダから得られた後方散乱係数の時系列データから得られた農地区画情報を用いて不要な情報を取り除き、クラスタリングを行った。結果、後方散乱係数の時間的変化のグラフと google earth, Sentinel-2, 現地観測写真から農地分類結果を得ることができた。

参考文献

1)生物多様性と農業

http://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/library/files/2008IDB_booklet.pdf

2)GRASS ビギナーズマニュアル・GIS 実習オープン教材

<https://gis-oer.github.io/gitbook/book/materials/GRASS/GRASS.html>

3)Sentinel-1A/1C/1D|一般財団法人リモート・センシング技術センター

<https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-1a-b.html>

4)合成開口レーダ (SAR) の基本

<https://sorabatake.jp/3364/>

バングラデシュ・テクナフ半島の森林消失地域の同定

長崎大学 北原孝志郎, 森山雅雄

1. まえがき

バングラデシュ・テクナフ半島において、80年代から森林消失が顕著であり、既往の研究で Landsat を用いた NDVI の差を利用して 30 年間での森林消失を同定した。本研究では、より短期間でのバングラデシュ・テクナフ半島の年毎の森林状態把握のための、衛星データ処理法確立のため、古典的な教師なし分類手法である ISODATA 法を用いて森林消失領域が特定できるのかを図ることを目的とし、乾燥進行に伴う植生変動をもとに分類し、結果の考察を行った。結果、分類期間を複数年まとめることで森林消失を同定することができ、大規模な森林伐採が起きた場合に本手法が有効であることが示された。

2. 分類法

2.1 対象と分類変数

雨期明けから乾燥進行に伴って葉が徐々に減少していき、特に草はすぐに枯死する。一方、木の葉はさほど減少はしない。この性質を利用して、11月(雨期明け)から翌年3月(雨期入り)にかけての光学センサーから求めた地表面反射率から計算した GRVI, NDVI の時系列データを分類変数とする。また 2018 年から 2019 年にかけての雨期明けから雨期入りの GRVI, NDVI を図 1~4 に示す。

図に示すように、2018 年 11 月は草木が茂っているが 2019 年 3 月は葉が徐々に減少しており、全体的に GRVI, NDVI が小さくなっているのがわかる。

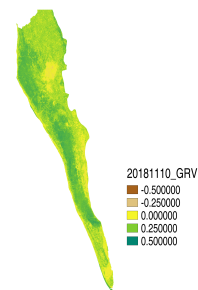


図 1 2018/11 の GRVI

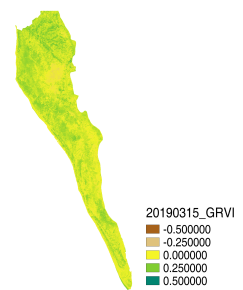


図 2 2019/03 の GRVI

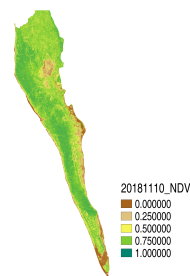


図 3 2018/11 の NDVI

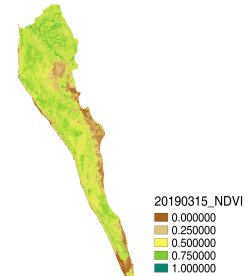


図 4 2019/03 の NDVI

2.2 分類手法

GRASS GIS には、古典的な教師なし分類手法である ISODATA 法が準備されている。通常の ISODATA 法は、入力データを一段で分類するものであるが、GRASS GIS では、ISODATA 法は入力データをサンプリングして、クラスを決定するだけの機能しか有せず、ここで決定したクラスを教師として、同様に GRASS GIS に準備されている最尤法分類を用いて入力データ全てを分類する。この手順の模式図を図 5 に示す。

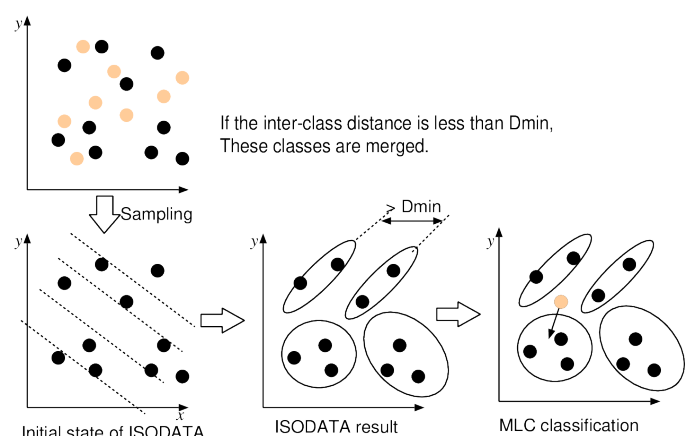


図 5 GRASS GIS の ISODATA 法による分類手順

3. 結果

図6は2017-2018における森林、森林消失、森林以外の植生をクラス分けしたものである。森林はclass9以上、森林消失はclass8、森林以外の植生はclass7以下として分類している。また図7は2019-2020における森林、森林消失、森林以外の植生をクラス分けしたものである。森林はclass9以上、森林消失はclass7, 8、森林以外の植生はclass6以下として分類している。

図8, 9より2017-2018ではclass8, 図10, 11より2019-2020ではclass7,8がNDVIの雨期に減少しているため、森林が消失していると考えられる。

図6,7を比較してみると、2017-2018で森林だった部分が2019-2020で森林消失へ、2017-2018で森林消失だった部分が2019-2020で森林以外の植生へ変化していることがわかる。

1718FORESTDEFOREST
 ■ Nonforest
 ■ Deforest
 ■ Forest

図6 2017-2018の森林の経年変化

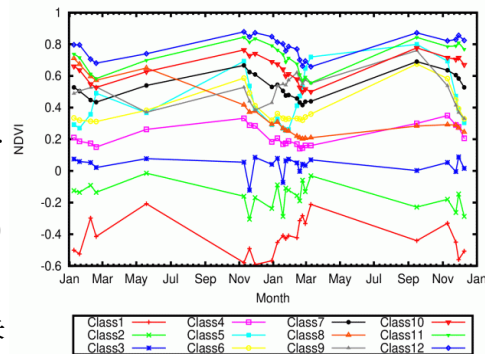


図8 2017-2018におけるクラス重心 (NDVI)

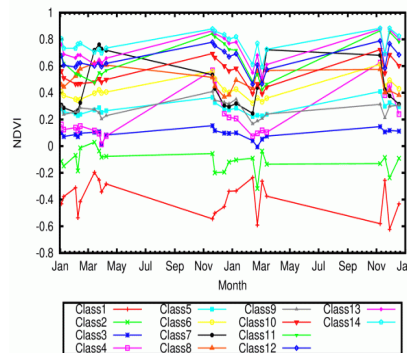


図10 2019-2020におけるクラス重心 (NDVI)

1920FORESTDEFOREST
 ■ Non Forest
 ■ Deforest
 ■ Forest

図7 2019-2020の森林の経年変化

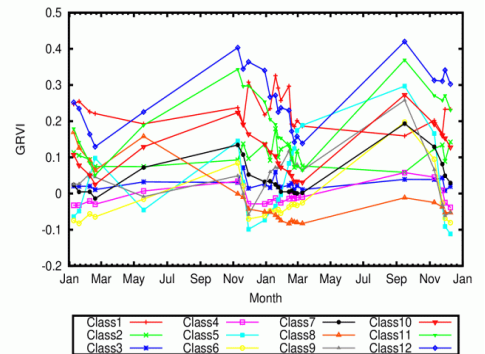


図9 2017-2018におけるクラス重心 (GRVI)

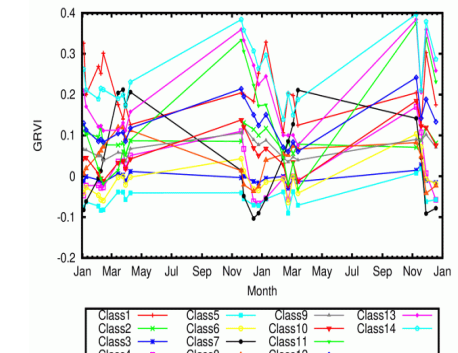


図11 2019-2020におけるクラス重心 (GRVI)

4. 結論

今回の研究において、分類期間を複数年まとめることで、森林消失を同定することができた。今回森林消失を同定できたのは、2017-2018, 2019-2020の2つの分類期間である。ただし、分類期間の長さや対象年度によって同定できるか否かが決まることがわかった。

これは2018年11月頃に起きたロヒンギャ民のためのキャンプ地建設のような大規模な森林伐採が起きた場合には、古典的な教師なし分類手法であるISODATA法を用いて森林消失領域特定することができると分かった。ただし、小規模な森林伐採および林相変化についてはいまだ森林消失を的確に同定することができないため、別の手法を用いる必要がある。

参考文献

- 1) Tani, M. (ed): Deforestation in the Teknaf Peninsula of Bangladesh, A study of political ecology, Springer, 2018.
- 2) 資源・環境リモートセンシング解説書編集会議: 地球観測データからの情報抽出, 資源・環境観測解析センタ, 2003.
- 3) Neteler, M. and H. Mitasova: Open source GIS: A GRASS GIS approach, Kluwer Academic Pub., 2004.

ケニア・ウィナム湾におけるアオコ・ホテイアオイの検知

長崎大学 前田涼太郎、森山雅雄

1. 本研究の背景・目的

ウィナム湾では、湖面を覆う浮草のホテイアオイやアオコが大繁殖している。そのため、釣船やフェリーの出入港や湖上航行の妨げ、水辺の環境劣化による浄水コストの増加など、周辺の住民への悪影響が顕在化している。本研究は、人工衛星の地球観測データを活用しウィナム湾におけるアオコ、ホテイアオイの検知アルゴリズムを確立することを目的とする。

2. 衛星について

Sentinel-2 は、欧州宇宙機関が地球観測ミッションにおいて開発した衛星である。森林監視や土地被覆変化の検出、自然災害対策などの事業を支援するような地表観測を行うことができる。同一仕様の2機の衛星、Sentinel-2A, Sentinel-2B から構成される。表 1 に衛星 Sentinel-2 から得られる衛星バンドデータを示す。

表 1 Sentinel-2 衛星バンドデータ

バンド	波長	中心波長 (nm)	分解能 (m)
B2	Blue	493	10
B3	Green	560	10
B4	Red	665	10
B8	NIR	833	10

本研究で扱う衛星 Sentinel-2 は、2020 年に大気補正アルゴリズムが更新された 10m 分解能でデータを収集する。

3. 目視による検知の判断基準

アオコは水中植物のため、近赤外の反射率が小さく、ホテイアオイは水上植物で葉面を持つため、近赤外の反射率が高い。この特性を生かして、高空間分解能衛星データからアオコ、ホテイアオイ、湖水を目視で検知し、データを収集する。緑の反射率が赤青に比べて大きい場合、アオコまたはホテイアオイとし、その中で近赤外の反射率が大きい場合はホテイアオイ、そうでない場合はアオコと判断する。

QGIS に衛星データを読み込むと、図 1 のように表示される。バンド R, G, B のそれぞれに、バンド 4, 3, 8 を割り当てる。図 2 から、近赤外を反射している部分が水色に見える。これをホテイアオイと認識し、緑部がアオコ、黄部が湖水と、目視で検知を行う。

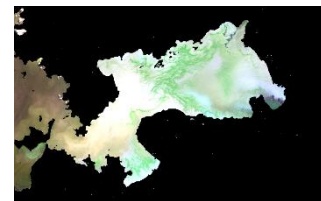


図 1 R: B4, G: B3, B: B2

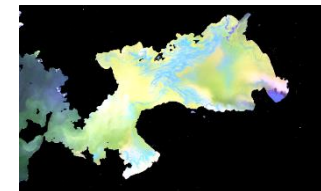


図 2 RGN

4. データ処理

表 2 2019. 5. 22 ホテアオイの反射率

バンド	目視による検知した反射率(x10000)									
B2	203	235	205	212	233	199	402	361	435	303
B4	428	446	462	432	453	429	846	822	879	944
B3	431	422	358	378	356	348	538	439	557	429
B8	2141	2177	3204	2323	2510	2654	704	675	656	1505

4.1 検知によるデータの取得

図 2 のカラー合成画像から、各対象植生の反射率を取得した。表 2 に 2019 年 5 月 22 日のホテアオイの反射率を示す。

4.2 線形判別

線形判別関数の設定には統計解析ソフトである R を使用し、観測地における対象植生の検知の有効性について検証を行う。最善な結果が得られた、正規化植生指標 NDVI を縦軸、緑赤植生指標 GRVI を横軸にしたグラフを図 3 に示す。図 3 から、 $LD1 > 0$ でホテアオイ、 $LD1, LD2 < 0$ でアオコ、 $LD1 < 0, LD2 > 0$ で湖水と判定できる。

表 3, 4, 5 に各対象植生の識別率を示す。

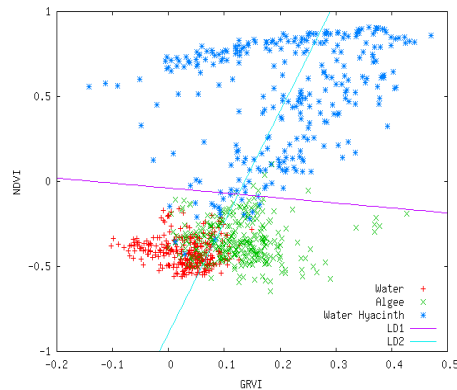


図 3 GRVI, NDVI 散布図

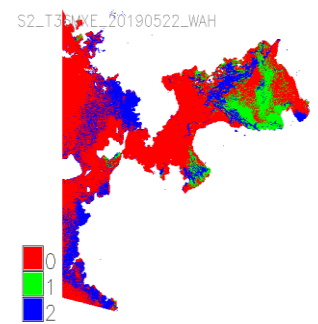


図 4 2019. 5. 22 分類結果

表 3 アオコ, ホテアオイ

	正	負
正	135	0
負	6	124
識別率(%)	97.7	

表 4 湖水, ホテアオイ

	正	負
正	112	0
負	20	124
識別率(%)	92.2	

表 5 湖水, アオコ

	正	負
正	135	15
負	38	12
識別率(%)	82.3	

5. 考察および結果

研究の結果, 82.3~92.3%の確率でアオコ, 97.7%の確率でホテアオイが判定でき, 検知アルゴリズムを確立させることができた。アオコと湖水の分類精度が低いのは, アオコは湖水との反射率が近く, 本衛星ではとらえられない縞状の構成を持つため, 一画素内でのアオコの被覆率が異なることが影響していると考えられる。

参考文献

<https://www.eorc.jaxa.jp/earthview/2013/tp130423.html>

地球が見える 2013 年 アフリカ・ビクトリア湖の公衆衛生～感染症予防への衛星利用

<https://www.goodnalife.com/entry/2021/06/0/220822>

線形判別分析

Agricultural crop monitoring in north Syria using Landsat 8 imagery

○Osama AKAK¹, Masahiro TASUMI²

Abstract: This study analyzed the relationship between precipitation and vegetation distribution for rainfed and irrigated agriculture in northern Syria for wet, dry, and normal years. Ground-based cultivation and weather data are limited; therefore, a series of Landsat 8 satellite imagery was used to investigate the agricultural status for different precipitation levels. The primary rainfed agricultural crops were wheat and barley and the irrigated crops were cotton and sugar beet. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was used to investigate the variation status. We found that drought substantially affected the crop production in rainfed agriculture, but crop production was stable in irrigated agriculture, even in the drought year. The results of this study indicate that remote sensing effectively monitors agriculture in similar environments and provides agricultural data when ground-based data are not easily accessible.

Keywords: *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI); Landsat 8; Crop monitoring*

1. Introduction

In March 2011, a devastating crisis began in Syria because of complex interrelated factors. This crisis resulted in challenges associated with climate variability, and the inefficient management of freshwater resources has directly contributed to the deterioration of Syria's economic conditions. There is a long history of conflicts over water in the Levant region because of scarce natural water resources, the early development of irrigated agriculture, and complex religious and ethnic diversity (Gleick, 2014).

In modern times, Syria is considered one of the driest areas in the world. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) estimates that the total renewable water availability in the country, including both surface and groundwater, is approximately 16.8 km³/yr. The Euphrates, Tigris, Orontes, and Yarmouk are the main rivers feeding the country, and they are all shared by neighboring countries, with nearly 60% of these rivers originating from outside Syria's borders. Furthermore, the extensive exploitation of groundwater has led to substantial drops in water levels, causing contamination by salt and nitrates and making local wells unfit for human use.

Agricultural and meteorological data are important for making strategic plans for sustainable land and water management and ecological conservation in Syria. One of the greatest challenges is the lack of quality data for agriculture and meteorology, which makes proposing such strategies difficult. Satellite remote sensing provides valuable vegetation, meteorological, and water data, even for the regions where the availability of quality ground-based observation data are limited (Tasumi et

al., 2014; Wali et al., 2019). Several different types of remote sensing technologies can be used for crop monitoring. Landsat is an orbiting satellite, the purpose of which is to map the earth and track changes as seen from space. The National Aeronautics and Space Administration (NASA) has launched a series of Landsat satellites since the early 1970s. The Landsat archive is managed by the United States Geological Survey (USGS) Earth Resources Observation and Science (EROS) center and represents the world's longest space-based record of changes on the Earth's surface with a high (e.g. 30 m) spatial resolution. Archived Landsat data from 1972 to the present are freely available from the USGS's Earth Explorer mapping interface. The Landsat images can be used to monitor, for example, agricultural practices, road and city construction, deforestation, and changes in sea ice.

In this study, we analyzed the effect of the amount of precipitation on agricultural crop production for rainfed and irrigated agriculture using Landsat vegetation monitoring. Our results provide information for better understanding the agricultural practices in the study area and sensitivity of crop production to climate in the region. This information will help contribute to proposing a strategic plan for sustainable crop production and water management in the region.

2. Materials and Methods

2.1. Study area

The study area is located in the northern part of Syria near Al-Raqqah city. The city is on the northeast bank of the Euphrates River and is 40 kilometers east of the Euphrates Dam, which is the largest dam in Syria. The climate in Al-Raqqah is hot, arid, and windy in

¹ University of Miyazaki (1-1, Gakuen Kibanadai-Nishi, Miyazaki 889-2192, Japan; E-mail: usamah6969@gmail.com)

summer and cold, dry, and partly cloudy in winter. Over the course of the year, temperatures typically vary from 2 °C to 40 °C and are rarely below -2 °C or above 42 °C. The wet season lasts for approximately six months, from October 23 to April 21. The month with the most frequent precipitation is February, with an average of five days of at least one millimeter. The dry season lasts for approximately six months, from April 21 to October 23. The month with the least rainy days is August, when no rain is expected.

Al-Raqqah has rich fertile land, with 42% of it arable. The region is the main source of Syria's strategic crops. The primary crops in the region are cotton, wheat, barley, sugar beet, and vegetables. Wheat and barley are typically cultivated with rainfed water, and the other crops are irrigated. In addition to rainfed agriculture, irrigated fields spread along the Euphrates river, where the Euphrates and Tishrin dams are located upstream of Al-Raqqah. Agricultural practices in the rural agriculture areas are more traditional than modern and basic services are lacking (Al-Ameen, 2017).

2.2. Data collection

To understand the long-term trend of annual precipitation, weather data of Al-Raqqah and Al-Qamishli cities in Syria and Urfa city in Turkey were obtained from the World Meteorological Organization (WMO) for a period spanning 30 years, from 1991 to 2021. A preliminary quality evaluation of the weather data indicated some uncertainties in the Al-Raqqah weather dataset, particularly in the precipitation records.

Al-Qamishli is situated 230 km from Al-Raqqah and has higher quality weather data. Urfa is situated 130 km from Al-Raqqah and has the highest quality weather data among three. The general weather characteristics in the study area are important background information for this study (Figures 1–4).

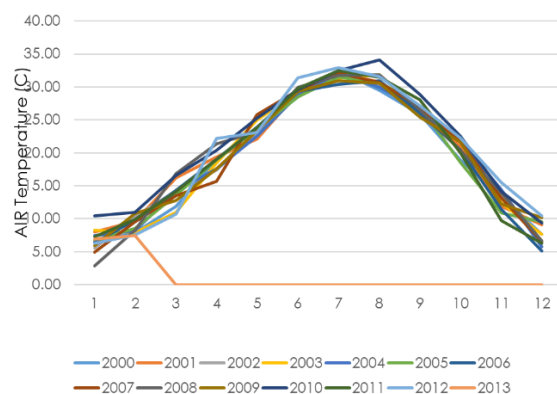


Figure 1: Air temperature in Al-Raqqah city.

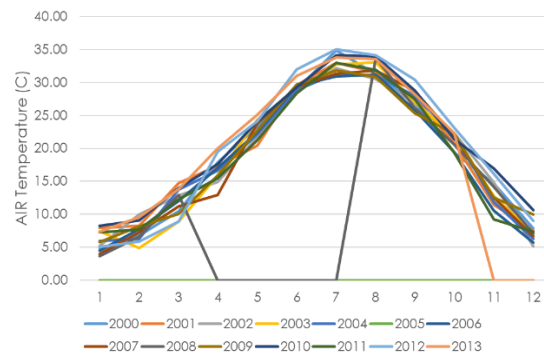


Figure 2: Air temperature in Urfa city.

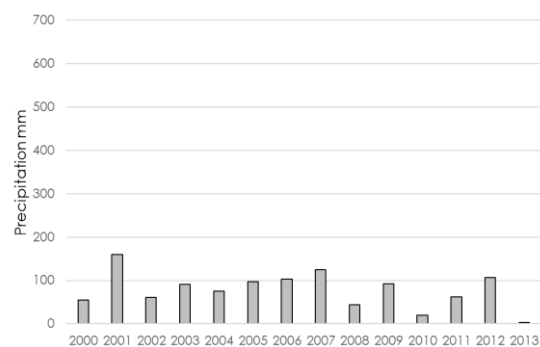


Figure 3: Annual precipitation in Al-Raqqah city.

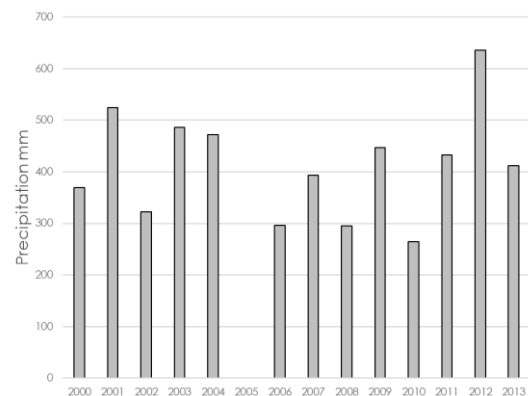


Figure 4: Annual precipitation in Urfa city.

The annual precipitation records indicated that 2014, 2017, and 2019, were normal, dry, and wet years, respectively (see Results section). In this study, the satellite analysis focused on these three years. Twenty-three images of Landsat 8, level 2, collection 2 for each of the specified years were acquired from the USGS earth explorer. These images were used to analyze the relationship between precipitation and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for irrigated and rainfed agricultural fields.

2.3. Data analysis

NDVI maps were generated using the Landsat 8 images to investigate the effect of precipitation on crop production, both in irrigated and rainfed fields. Landsat 8 has a 16-day repeat cycle, and therefore, approximately 23 images were available for each year. NDVI is a key variable that reflects crop production. To investigate the differences in irrigation performance by country, 100 irrigated fields were sampled from the Syrian side around Al-Raqqah and 100 irrigated fields from the Turkish side around Urfa. The average NDVI values for each 100 sample fields were analyzed. Differences in the NDVI values among the three years (2014, 2017, and 2019) indicated the effect of precipitation on irrigated and rainfed fields. Water for crop production is insufficient in the dry season without irrigation, and therefore, high a NDVI in the dry season is evidence of irrigation.

3. Results and discussion

3.1. Evaluation of the precipitation data quality

Figure 5 shows the long-term annual precipitation record for Al-Qamishli during 1991–2021, with the number of days lacking data in each year. Figure 6 shows the precipitation record for Urfa. Figures 5 and 6 agree that 2017 was a dry year and 2019 a wet year. The quality of the Al-Raqqah precipitation data (Figure 3) was evaluated as low and unreliable for the following reasons:

- (1) A large number of lack of dates and data.
- (2) The precipitation data does not match the vegetation distribution obtained from the satellite images. For example, the satellite image implied successful crop production with rainfed agriculture in some years when the annual precipitation was reported to be less than 100 mm, which deviated from the crop water requirement.
- (3) Although Al-Raqqah and Urfa had some similarities and continuity in topography, their annual precipitation amount between differed significantly.
- (4) Some independent sources of precipitation information reported that Al-Raqqah receives an average annual rainfall of approximately 250 mm (The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands; ACSAD) or 270 mm (<https://tcktkctck.org/syria/al-raqqah/ar-raqqah>), which disagrees with the precipitation record obtained (Figure 3).

In contrast, the precipitation record for Urfa rarely

lacked data except for the years 2005 and 2008. In addition, vegetation distribution monitored by satellite for rainfed agriculture and rangelands agreed with the trend of Urfa's precipitation record (Figure 6) whose data indicated that 2014 was a normal year of precipitation. Consequently, this study focused on 2014, 2017, and 2019, as normal, dry, and wet years, respectively.

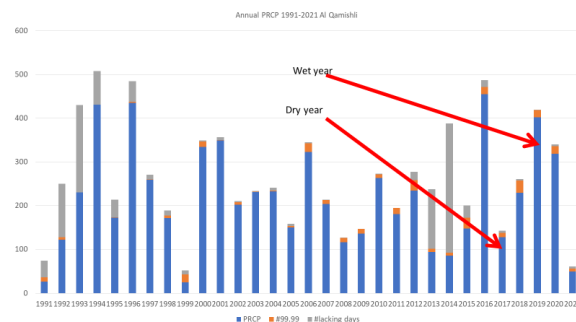


Figure 5: Annual precipitation in Al-Qamishli during 1991–2021 showing the number of days lacking data.

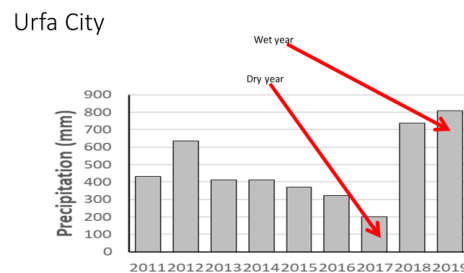


Figure 6: Annual precipitation in Urfa during 2011–2019.

Using the annual average precipitation value of 250–270 mm for Al-Raqqah obtained from an independent data source, precipitation in Al-Raqqah is potentially less than that in Urfa. This suggests that a strategic plan for agricultural water management is difficult when reliable precipitation information is lacking, and therefore, satellite-based monitoring and analysis can effectively compensate for a limited availability of ground-based data.

3.2. Effect of draught in rainfed agriculture

Figure 7 shows NDVI maps of the study area in the spring seasons of 2017 (dry year) and 2019 (wet year). April and May are typical months where rainfed wheat fields are in their mid-cultivation season. Wheat is typically harvested in June. A large NDVI difference was available between the two years, with almost no active vegetation found in the dry year and very active vegetation that was spread over a wide area in the wet

year. Satellite observations, coupled with precipitation information, clearly illustrated the serious reduction of crop production in rainfed agriculture because of drought. A quantitative analysis of drought impact will be a future topic of the study.

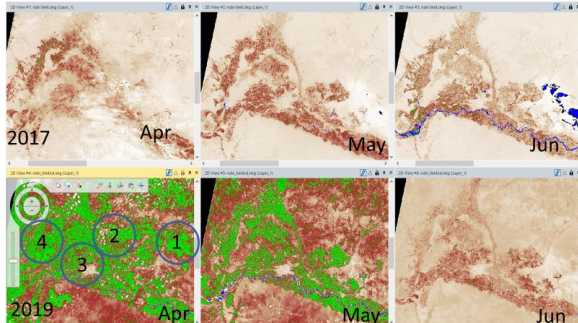


Figure 7: NDVI maps of April to June in 2017 (dry year) and in 2019 (wet year).

3.3. Effect of draught on irrigated agriculture

The NDVI maps indicated that irrigated fields spread along the Euphrates river around Al-Raqqah. Large irrigation districts are also available in Turkey, near the Syria–Turkey border, including Urfa (Figure 8).

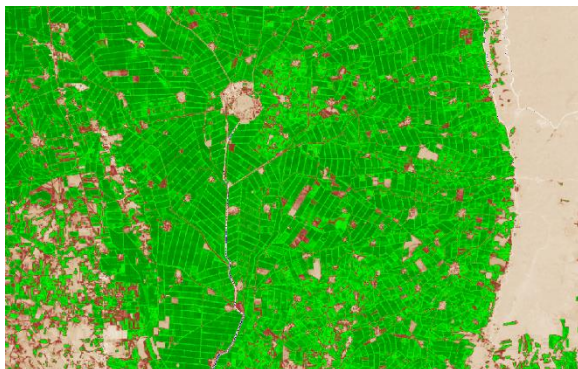


Figure 8: NDVI map of irrigated fields in August in Urfa, Turkey.

The impact of draught was investigated for the Al-Raqqah and Urfa irrigation fields by taking 100 samples from each of the fields. The average NDVI of the sampled irrigation fields are shown in Figures 9 and 10, respectively. The Al-Raqqah fields (Figure 9) showed two NDVI peaks in a year, except for the dry year. The first peak was in spring and the second was in summer. Double-cropping was practiced in some of the sample fields. The peak NDVI values of the first season were significantly smaller than those of the second season, even in the normal and the wet years, implying that agriculture may be conducted only in limited fields during spring. The NDVI values remain low in spring

2017, reflecting the effect of drought. More detailed information regarding spring agriculture can be obtained by further investigating the NDVI values of each individual field. This will be a topic of research in a future study.

In the second season cultivation, no obvious difference of NDVI was found among dry, wet, and normal years; however, a delay in cultivation timing was observed in the dry year. It is likely that irrigation was adequately conducted even in the dry year. More information that is detailed can be derived by analyzing the timing of precipitation at weekly or monthly timescales, which will be researched in a future study. The irrigation district in Urfa (Figure 10) cultivates only once per year in summer. The NDVI values for the investigated three years (2014, 2017, and 2019) were similar. Considering the significantly low annual precipitation in Urfa in 2017 (Figure 6), the high NDVI value even in the drought year indicates robust irrigation management.

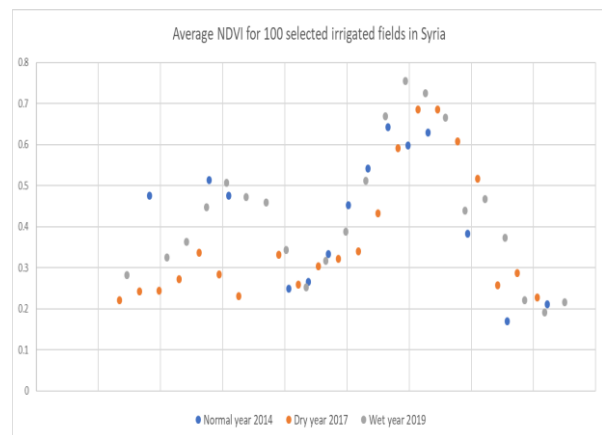


Figure 9: Average NDVI values of irrigated sample fields in dry, wet, and normal years in Al-Raqqah, Syria.

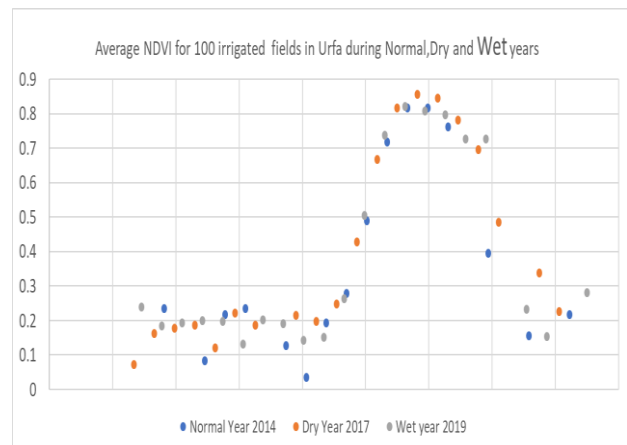


Figure 10: Average NDVI values of irrigated sample

fields in dry, wet, and normal years in Urfa, Turkey.

4. Conclusions

This study investigated the effect of precipitation on crop production in the northern part of Syria, where quality agricultural and weather data are limited. The NDVI, computed by a series of Landsat 8 satellite images, effectively described the regional agricultural status from space monitoring. While drought seriously affected rainfed agriculture around the study area in Syria, the effect of drought was not significant for irrigated agriculture. Furthermore, more information that is detailed can be obtained by conducting a monthly field-scale analysis.

Acknowledgements

This study was financially supported by JSPS KAKENHI, grant number JP18K05886.

References

- Al-Ameen, 2017. “Ar-Raqqa in Numbers”. Al-Ameen for Humanitarian Support, www.alameen.org.
- Gleick, Peter H. 2014. Water, drought, climate change, and conflict in Syria. *Weather, Climate, and Society*, **6**:3:331-340.
- Tasumi, M., Hirakawa, K., Hasegawa, N., Nishiwaki, A., Kimura, R. 2014. Application of MODIS Land Products to Assessment of Land Degradation of Alpine Rangeland in Northern India with Limited Ground-Based Information. *Remote Sensing*, **6**:9260-9276.
- Wali, E., Tasumi, M., Shinohara, Y., Takeshita, S. 2019. Mapping crop types and the crop water requirements over small-sized irrigated fields in the Khost Province of Afghanistan. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, **24**:2:9-15.