

一般社団法人

日本リモートセンシング学会

The Remote Sensing Society of Japan



## (一社) 日本リモートセンシング学会九州支部 2022 年度研究発表会論文集

日時: 2023 年 3 月 3 日(金) 14:00 – 15:15 (オンライン開催)

- |               |  |   |
|---------------|--|---|
| 14:00 – 14:15 | 衛星データを用いた三重県松坂市の再生可能な耕作放棄地把握, 柿本聖成, 森山雅雄 (長崎大学)  | 1 |
| 14:15 – 14:30 | 光学センサを用いたケニア・ビタ地区の水はけ状況把握, 今村優花, 浦和幸, 森山雅雄, 皆川昇 (長崎大学)   | 3 |
| 14:30 – 14:45 | 衛星を用いた高温部把握に関する研究, 中村朱璃, 森山雅雄 (長崎大学)   | 5 |
| 14:45 – 15:00 | 景観解析ツール FRAGSTATS を用いた長崎市街地の評価, 末吉正道, 森山雅雄 (長崎大学)  | 7 |
| 15:00 – 15:15 | Assesing the stability of agriculture in the Herat province of Afghanistan using MODIS NDVI imagery, Tariq Mosawee, Masahiro Tasumi (U. of Miyazaki) | 9 |

## 衛星データを用いた三重県松阪市の再生可能な耕作放棄地把握

長崎大学 柿本 聖成, 森山雅雄

### 1. 背景と目的

東京大学大学院の香坂玲教授は「農林業生産と環境保全を両立する政策の推進に向けた合意形成手法の開発と実践」という、科学的基盤を持った農林業政策の実現を目標とするプロジェクトに参加されている。再生可能な耕作放棄地を発見することで、のちに農林業生産が行える場所の確保だけではなく、廃棄物の不法投棄の防止や病虫害・鳥獣被害の抑制といった環境保全が見込める。本研究では、三重県松阪市飯高地区において、合成開口レーダから得られたデータをクラスタリングし、ソーラーパネル等が設置されていない再生可能な耕作放棄地の同定手法を確立する。

### 2. 研究方法

以下の3項目について各データを利用して判定後、耕作地データで農地と判定されている場所を一年間の合成開口レーダ (Sentinel-1) でクラスタリングし、Sentinel-2 のデータより冬季の NDVI が小さい画素を再生可能な耕作放棄地とする。

- 耕作をしていたか…筆ポリゴンで耕作地とされている。
- 背の高い植物の有無…粗度が小さい、すなわち合成開口レーダの散乱係数が小さい。
- 裸地…植生指数が低く、光学センサデータの分光方向のばらつきが大きい。無彩色ではない。

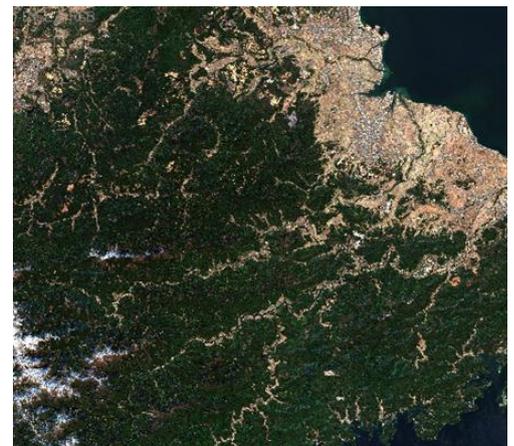


図 1 対象地域の Sentinel-2 画像

### 3. 利用データ

#### 3. 1 Sentinel-1

ESA/EC (欧州宇宙機関) が運用する、12 日周期で回帰する気象・地球観測衛星であり、地表面形状などの観測や陸域・海面の画像取得が可能である。

#### 3. 2 Sentinel-2

ESA/EC (欧州宇宙機関) が運用する、10 日周期で回帰する気象・地球観測衛星であり、陸域観測を主な目的とする。

#### 3. 3 農地データ

農林水産省が出している農地区画情報 (筆ポリゴン) を用いる。筆ポリゴンは、衛星画像等の空中写真データをもとに、農地と思われる場所を目視で決定しているが、現地の確認や測量が行われていないため、農地ではないものが含まれる可能性もある。

#### 3. 4 現地調査

2022 年 8 月 10 日, 8 月 11 日の 2 日間, 上記の衛星データによって検出した耕作放棄地を現地で確認した。

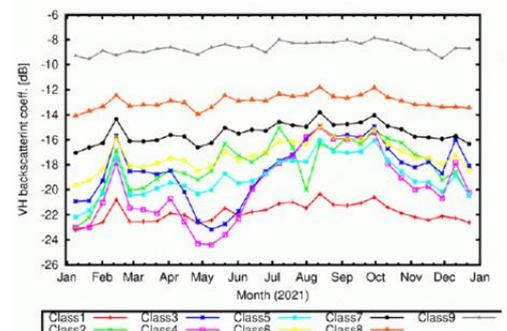


図 2 Sentinel-1 クラスタリング結果

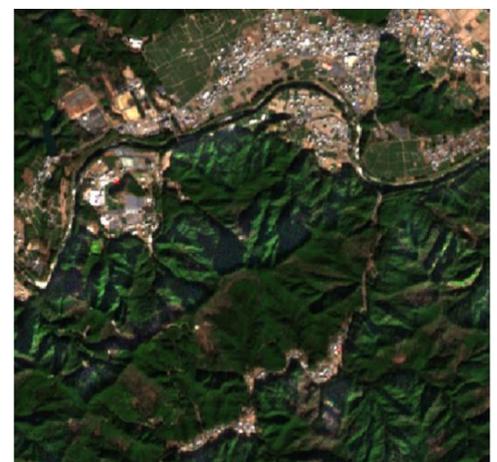


図 3 飯高地区の Sentinel-2 画像

## 4. 研究結果

### 4. 1 耕作放棄地の検出

図 2 において、Class1 は後方散乱係数が大きく、粗さの変化が年間を通して少ない。加えて、夏季に Class1 の数値が、他の Class より低くなっている。また、NDVI の分布と Google Earth の画像を重ねたところ、NDVI を 0.2 以下のときに農地に NDVI の分布が集中した。以上のことに加え、後方散乱係数の年間最大値が-17dB~-20dB の範囲内であれば背の高い植物が生えていないことにより、Class1 かつ NDVI が 0.2 以下の画素を耕作放棄地とした。

### 4. 2 現地調査の結果

調査予定であった耕作放棄地を現地で確認したところ、ほとんどの地点にソーラーパネルが設置されていた。

### 4. 3 再生可能な耕作放棄地の検出 (改良版)

クラスタリングは統計学的処理であり、基準が年によって変化する可能性がある。そこで、Google Earth を用いて耕作放棄地がソーラーパネルで被覆されていることと、そのソーラーパネルの後方散乱係数の両方を確認した上で、決定論的手法として次の 3 項目について考慮し、改めて再生可能な耕作放棄地の同定方法を判断した。

- 後方散乱係数の年間最大値が特定の値以下…ソーラーパネルの後方散乱係数の最小値を特定し、その数値より小さければ再生可能な耕作放棄地である。
- 冬季の NDVI が特定の値以下…冬季の NDVI の値が通常の農地の値よりも低くなれば再生可能な耕作放棄地である。
- 冬季の光学センサデータにおいて分光方向に変動が小さい…無彩色の場合、光学センサデータの分光方向の標準偏差が小さくなることを利用し、ソーラーパネル、コンクリート、アスファルトが示す標準偏差の数値より大きければ再生可能な耕作放棄地である。

以上を踏まえた結果、表 7 に示す条件を全て満たしている農地で、ソーラーパネルが設置されていない再生可能な耕作放棄地のみが検出された。

## 5. 考察と結論

本研究ではまず、筆ポリゴン、合成開口レーダ、光学センサを用いて耕作放棄地の同定法を開発した。しかし、現地調査でほとんどの箇所にソーラーパネルが設置されていたため、合成開口レーダを利用してソーラーパネルの設置場所を特定する方法の開発をした。その後、NDVI や後方散乱係数の違いを利用して、ソーラーパネルが設置されていない再生可能な耕作放棄地の同定法を開発することが出来た。なお、候補となる地点数を重視する場合は-19dB 以下、確実性をより高める場合は-20dB 以下にする、といった用途に応じた使い分けも可能であると考えられる。

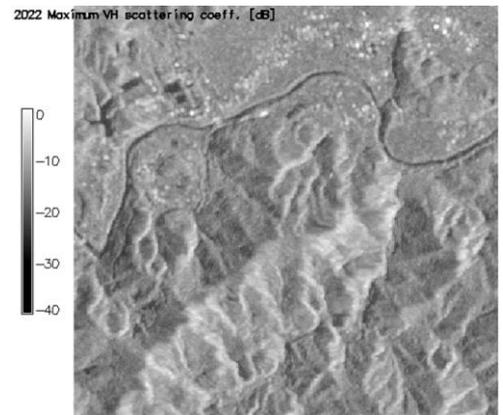


図 4 図 3 に対応する後方散乱係数の分布



図 5 図 3 に対応する分光方向の標準偏差の分布

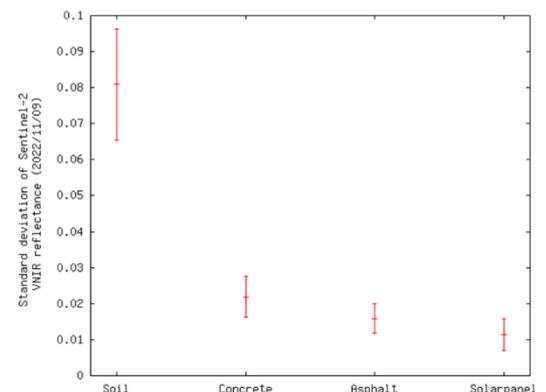


図 6 光学センサデータにおける分光方向の標準偏差

表 7 再生可能な耕作放棄地である条件

|                      |         |
|----------------------|---------|
| 後方散乱係数の年間最大値         | -19dB以下 |
| 冬季のNDVI              | 0.2以下   |
| 冬季の光学センサデータの分光方向標準偏差 | 0.025以上 |

## 光学センサを用いたケニア・ビタ地区の水はけ状況把握

長崎大学 今村優花, 浦和幸, 森山雅雄, 皆川昇

### 1. 研究の背景

マラリアとはハマダラカという蚊により媒介される, 主に熱帯で発生する感染症である. 世界の人口の約40%がマラリアの危険にさらされており, WHOの推計によると年間2億人以上の罹患者, 200万人が死に至る. そのうちの90%がサハラ以南のアフリカで発生し, 毎日3000人の5歳以下の子供たちが犠牲者として命を落としている. 先進国ではほぼ撲滅されたが, アフリカでは貧困や財政難のため十分な対策がとれない. またマラリアに罹患することにより就業や教育の機会を失い, 更に貧困を加速させ脱却ができない. その結果, 高額な医療費負担が困難となり悪循環に苦しんでいる. 近年の気候変動により媒介する蚊の繁殖に適した環境が増加し, 人に感染するリスクが高まっている.

蚊の幼虫は移動能力が低いため, 他の動物がいない水たまりなどに産卵する. 蚊の生息地を見つけ出すことにより, マラリアに感染しないために様々な対策を練ることが可能である. したがって産卵適地である水のある場所を同定する必要がある<sup>1,2)</sup>.

### 2. 目的

本研究の目的は人工衛星を搭載した光学センサを用いて蚊の産卵適地である水はけの悪い場所を同定する手法を開発することである.

### 3. 手法

#### 3. 1 利用データ

利用データを表1に示す<sup>3)</sup>.

表1 利用データ

| プロダクト         | データ            |
|---------------|----------------|
| SGLI          | NDVI           |
|               | 雲フラグ           |
|               | 雲影フラグ          |
|               | LST            |
|               | LW フラグ         |
| GSMaP ver.7   | 日平均降雨強度 [mm/h] |
| GMTED 075 DEM | 標高             |

#### 3. 2 同定法

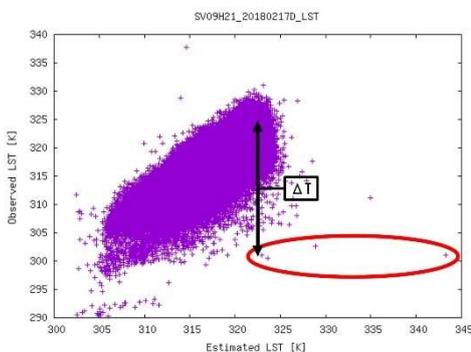


図1 外れ値の検知法

図1は縦軸をLST実測値, 横軸を推定値とした散布図で, この外れ値は予想より実測値が低く, 余計に蒸発散が多くて水はけが悪いことを表している. 2018年4月から2021年12月までの3年間のデータを使用して地表面温度はNDVIと標高の一次関数で表せることを仮説として立てた. 潜熱において蒸発が多いと地表面温度は上がりにくいことから地表面温度を決める変数の一つとして植生量を表すNDVIを使う. また顕熱において地表面温度と気温の差に比例することから気温は標高に比例して下がる. したがって標高(Z)も地表面温度を決める変数として使って地表面温度の推定値の回帰式を作って式3.1に示した.

$$\text{Estimated LST} = b_0 + b_1 * \text{NDVI} + b_2 * Z \quad (3.1)$$

この回帰式をシーン毎に作成する。ここで、LSTの実測値 (Observed LST) と推定値 (Estimated LST) との差  $\Delta T$  (図 1 に示す) を回帰の標準誤差  $\sigma$  で正規化したものを式 3.2 に示した。この大きさを地表面温度の暑い、冷たいを表すこととした。

$$a = \frac{\Delta T}{\sigma} \quad (3.2)$$

$\Delta T$ : 地表面温度の推定値と実測値の差

#### 4. 結論

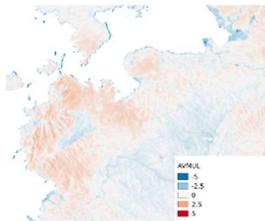


図 2  $\Delta T/\sigma$ の平均値



図 3 ケニア Gambe  
East, West

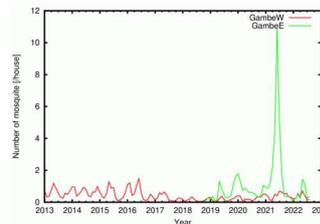


図 4 毎月領域あたり 200 件  
程度の家庭での蚊の数

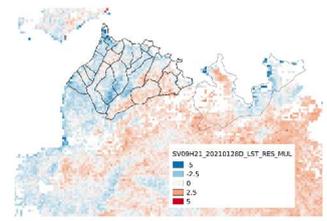


図 5 2021/1/28  $\Delta T/\sigma$ の  
平均値

本研究において、衛星から推

定された地表面温度、NDVI と標高を用いて水はけの悪い場所を同定する手法を確立した。具体的には地表面温度が低くなる原因である NDVI と標高を考慮した上で地表面温度が低い場所を同定するために、NDVI と標高を独立変数とした回帰式を用いて地表面温度の推定値をシーン毎に作成し、 $\Delta T/\sigma$  を全シーンに渡り平均したものを図 2 に示した。 $\Delta T/\sigma$  が小さくなっていることを確認して、水はけが悪いことを表すことができた。長崎大学熱帯医学研究所病害動物学研究室の皆川教授から提供を受けた図 3 と図 4 に示した蚊のデータにより、2021 年の Gambe 東部での毎月領域あたり 200 件程度の家庭で勘定された蚊の数が著しく多いこと (図 4 に示す) と Gambe の  $\Delta T/\sigma$  の平均値 (図 5 に示す) と比較した際、Gambe 東部に蚊が多いこととつながり、明確ではないが関連付けが示された。したがって、水はけが悪いと示されたところが産卵適地であると同定することが可能である。

#### 参考文献

- 1) National Aeronautics and Space Administration (NASA), 1973. The Use of remote sensing in mosquito control. NASA Publication MSC-07644, Life Sciences Directorate, Health Services Division, Health Applications Office, Washington, D.C
- 2) Barnes, CM, and Cibula, WG, 1979. Some implications of remote sensing technology in insect control programs including mosquitoes. Mosq News 39:271 -282.
- 3) [JAXA | 気候変動観測衛星「しきさい」\(GCOM-C\)](#)

## 衛星を用いた高温部把握に関する研究

長崎大学 中村朱璃 森山雅雄

### 1. 目的

現在日本の首都、東京では、年平均気温が100年前に比べて3°Cも上昇しており、都市において熱を逃がしていくシステムが必要となる。そのため、まずは発熱源の調査を行っていく必要があり、発熱源を把握する方法を確立していくことが求められている。

本研究では、空間統計量の計測を行い、高温部把握のアルゴリズムを確立する。

### 2. 地表面温度の決まり方

地表面が吸収する正味の放射フラックスを  $R_{net}$ 、顕熱を  $H$ 、地表面から地中の深い層へ伝わる熱を  $G_0$ 、蒸発熱を  $E$  としたとき地表面が吸収する正味の放射フラックスにおける関係式より、次の式が成り立つ。

$$(1-r)S + \varepsilon L = \varepsilon\sigma\theta_s^4 + H + LE + G_0 \tag{2.1}$$

式(2.1)において、左辺は地表面への入力エネルギー、右辺はそれぞれの項への変換を示している。

式(2.1)において、この地点に発熱体  $X$  が存在すると仮定すると、入力エネルギーに  $+Q$  が加わる。右辺において、 $\varepsilon$ 、 $\sigma$ 、 $H$ 、 $LE$ 、 $G_0$  は地表面の性質により一定であるため、地表面温度  $\theta_s$  のみ値が変化することができる。この時の地表面温度を  $\theta_s'$  とすると、次式のようになる。

$$(1-r)S + \varepsilon L + Q = \varepsilon\sigma\theta_s'^4 + H + LE + G_0 \tag{2.2}$$

発熱体が存在する際は式(2.2)となり、 $Q$ の値が大きいほど地表面温度は高くなる。加えて、発熱体自身の熱放射も衛星に届くため、衛星から観測した温度は高くなる。図1は発熱体  $X$  が存在するときの地表面温度の決まり方を図式化したものである。

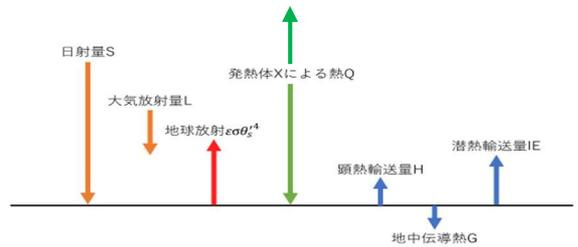


図1 発熱体  $X$  が存在するときの地表面温度の決まり方

### 3. 地表面温度における異常値の見つけ方

本研究では、LANDSAT8号で得られたデータをもとに、平均値や標準偏差といった空間統計量を求め、この操作により得られた標準偏差の値をオーバーレイ表示し、図式化した。その図を見て、地表面温度の異常値を調査する方法をとる。尚、対象画素を計算するごとに1画素ずつずらすことで各地点におけるデータを得ている。

図2の平面モデルにおいて、 $T_{ij}$ の地点における平均値を考える。平均値を取る画素数を  $T_{ij}$ の地点を中心として、 $p \times p$ 画素とするときに、平均値  $\overline{T_{ij}}$  は次の式によって求められる。

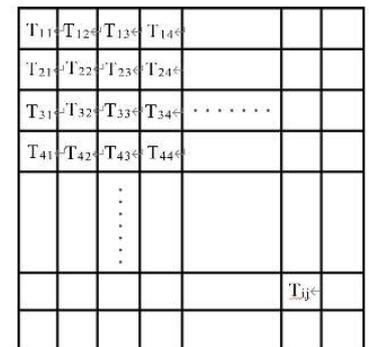


図2 平面モデル

$$\overline{T_{ij}} = \frac{1}{4p^2} \sum_{k=i-(p-1)}^{i+(p-1)} \sum_{l=j-(p-1)}^{j+(p-1)} T_{kl} \tag{3.1}$$

また、同様に標準偏差について、式(3.1)で得られた  $\overline{T_{ij}}$  を用いて次の式で表される。

$$\sigma_{T_{ij}} = \sqrt{\frac{1}{4p^2} \sum_{k=i-(p-1)}^{i+(p-1)} \sum_{l=j-(p-1)}^{j+(p-1)} (T_{kl} - \overline{T_{ij}})^2} \tag{3.2}$$

式(3.1)、(3.2)より、 $T_{ij}$ における平均値、標準偏差の値が求められた。本研究では、こちらの空間統計量を利用する。

#### 4. 各拠点における標準偏差の大きさに関する画像の解析結果および考察

空間統計量の計測により、画像の解析を行った。その結果、20か所の発熱体を見つげられた。ここでは2か所を取り上げる。

図3、図4に示したように、高温部の地点を見定め、その地点において人間による生産活動が行われている場所を確認することができた。

また、図5、図6は、画素数の違いによる標準偏差の現れ方の違いを示したものである。これらの図により、画素数によって標準偏差の値の現れ方が異なることが分かった。そのため、調べたい地点における適する画素数を予め調査する必要がある。また、適する画素数は、対象とする高音地帯の範囲、温度の高さによる。また、この高温部には栄順産業三吉工場が拠点として存在する。

そして、図7から図10は時系列による標準偏差の値の違いを示したもので、図7、図8は九州積水工業付近、図9、図10は日本精工埼玉工場付近である。図8、図10では、図7、図9に比べ、極端に標準偏差の値が下がっていることが分かる。すなわち、図8、図9の時点では、生産活動が停止、もしくは縮小して生産活動が行われていたことが考えられる。

#### 5. 結論

本研究を通して、空間統計量を用いて高温部把握を行うことができるアルゴリズムを確立することができた。平均値や標準偏差の値と言った空間統計量の事前計測を行

い、適する画素数を定めることで高温部把握を行った。これにより、対象地点における生産活動の有無を推測できた。また、今回のアルゴリズムを利用し、時系列ごとの生産活動の稼働状況の推測も可能であると言える。

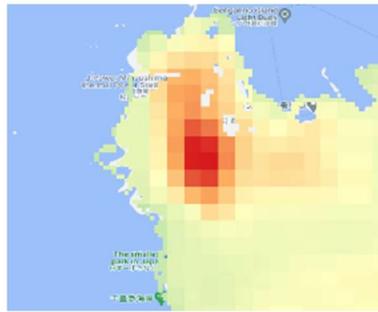


図3 松島火力発電所

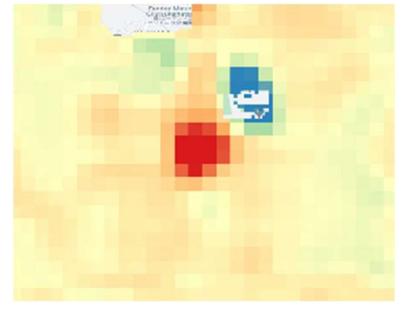


図4 ファナックつくば工場

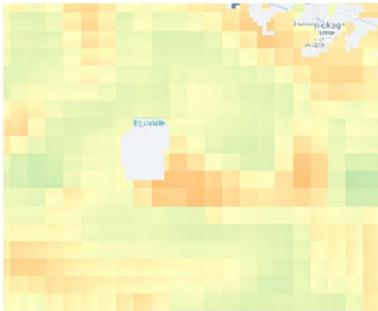
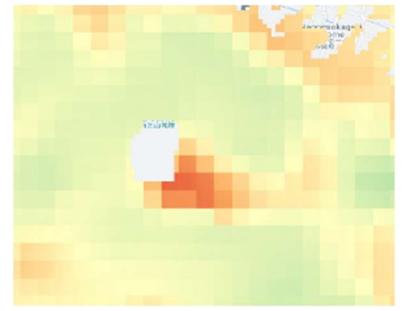


図5 49px x 49px



の 図6 101px x 101px

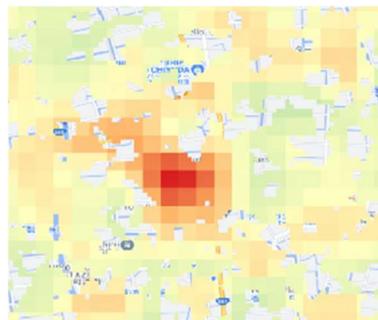


図7 2019年4月21日



図8 2020年12月3日

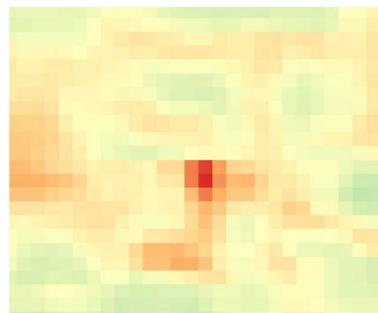


図9 2019年4月11日

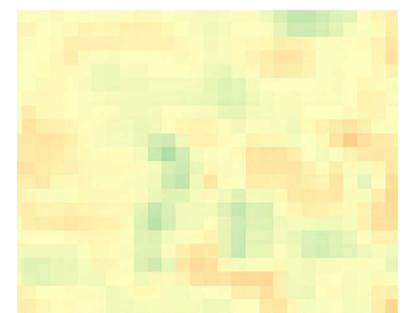


図10 2020年12月3日

#### 参考文献

- 1)大気科学講座1 地表に近い大気、竹内清秀・近藤純正共著、1981.
- 2)熱環境改善構想の考え方 <https://www.env.go.jp/air/report/h18-03/01.pdf> (R4/2/5 参照)
- 3)リモートセンシングと放射伝達 - JAXA 第一宇宙技術部門 Earth-graphy (R4/2/7 参照)

<https://earth.jaxa.jp/ja/co-knowledge/remote-sensing/index.html>

# 景観解析ツール FRAGSTATS を用いた長崎市街地の評価

長崎大学 末吉正道, 森山雅雄

## 1 はじめに

### 1.1 本研究の背景と目的

一般的に、「景観」とは、様々な要素からなる空間を眺め、眺める人の感性や価値観等により捉え方が異なる。つまり定性的かつ主観的な部分が主である。一方で、景観生態学における「景観」は、任意のスケールにおいて認識されるパッチ(面:森林や草地), コリドー(線:河川や並木), マトリックス(背景:広大な森林や草原)が相互に関係しあう生態的システムを形成している状態であり<sup>1)</sup>, これらの景観パターンを定量化することがよく使われる研究方法である。その中の一つとして、景観解析ツールFRAGSTATSが有効であるといわれている。この応用例として、さとやま指数や農地景観多様度指数などが挙げられる。本研究では、長崎市街地を対象地とし、街並みを定量的かつ客観的に評価することを試みる。

### 1.2 景観生態学と FRAGSTATS の概要

「景観生態学」は、景観構成要素の隣接関係などによって土地利用や自然資源利用に活かすことを目的とする学問である。FRAGSTATS は、土地被覆図や植生図のような意味をもつラスターデータを対象とした景観パターン分析のための 200 種類以上の空間統計量の一覧で、あるスケールにおける景観全体の構造や空間配置を計測する<sup>2)</sup>。

## 2 分析方法

### 2.1 FRAGSTATS 利用の前処理

今回、利用したデータは 50cm 分解能の国土地理院航空写真(図 1)、航空写真から植生域を抽出した画像(図 2)、影域を抽出した画像である(図 3)。また、長崎市の用途マップ<sup>3)</sup>から商業地域に属している中央橋、浜口、城栄、住吉の 4 つのエリアを選定した。



図 1 50cm 分解能の航空写真

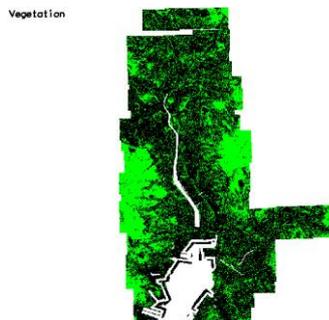


図 2 植生域を抽出した画像

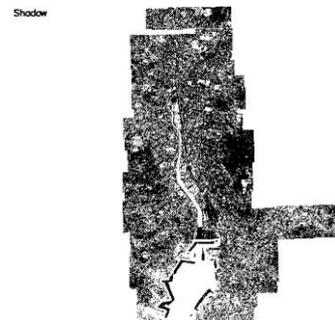


図 3 影域を抽出した画像

### 2.2 計算方法と分析手順

本研究では、フリーGIS である GRASS に一部実装されているものを使用し、50cm 分解能で半径 100m 毎と半径 200m 毎に植生域と影域それぞれで 13 個の空間統計量を計算した。その後、フィッシャー距離を求めることで、各エリア間の分離の大きさを明らかにした。表 1 は各エリア間で分離が大きい空間統計量 2 つの変数とその値を示したものである。値が大きければ、分離が大きく、景観構造の違いが把握できると推定した。

表 1 各エリア間の距離

|     | 浜口  | 城栄  | 住吉   |
|-----|---|---|--|
| 中央橋 | Patchdensity_SDW_100(1.287)<br>MPS_SDW_100(1.195) | Patchdensity_VEG_100(1.414)<br>Edgedensity_VEG_100(1.198) | Patchdensity_VEG_100(0.351)<br>PSD_VEG_100(0.317)    |
| 浜口  |   | PCV_VEG_100(1.668)<br>Patchdensity_VEG_100(1.345)         | Patchdensity_SDW_100(1.050)<br>PRANGE_VEG_100(1.015) |
| 城栄  |   |   | Patchdensity_VEG_100(1.071)<br>SHAPE_VEG_100(1.015)  |

以下、Patchdensity(単位面積当たりのパッチ)は PD と呼ぶ。MPS(Mean Patch Size): パッチの平均サイズ

図 4~11 は、分離が大きかった空間統計量の拡大図を示している。写真 1~4 は、各エリアを特徴づける画像である。

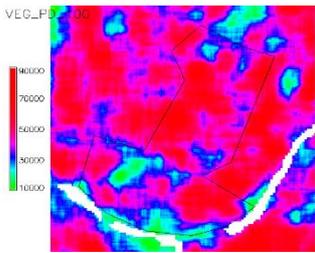


図 4 中央橋\_PD\_VEG\_100

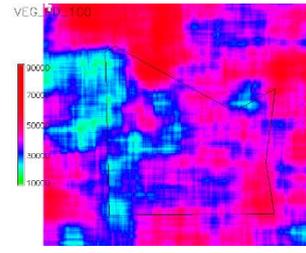


図 5 浜口\_PD\_VEG\_100

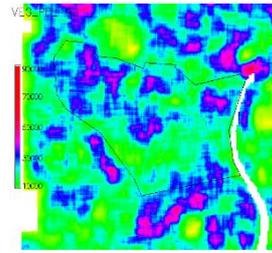


図 6 城栄\_PD\_VEG\_100

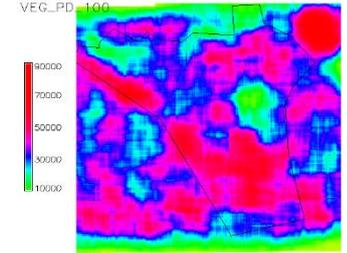


図 7 住吉\_PD\_VEG\_100

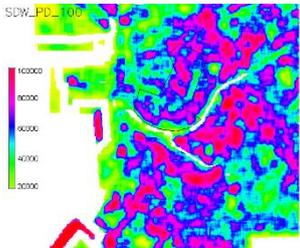


図 8 中央橋\_PD\_SDW\_100

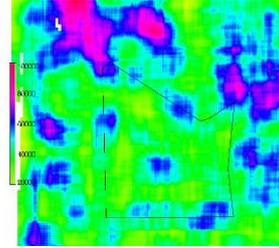


図 9 浜口\_PD\_SDW\_100

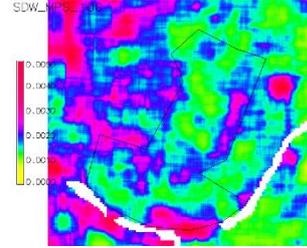


図 10 中央橋\_MPS\_SDW\_100

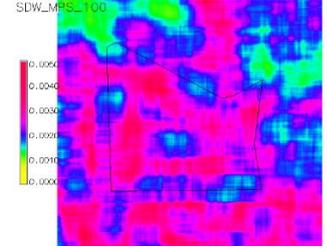


図 11 浜口\_MPS\_SDW\_100



写真 1 中央橋 (市役所通り)



写真 2 城栄 (商店街通り)



写真 3 城栄 (住宅地)



写真 4 浜口 (住宅地)

### 3 結果及び考察

表 1, 図 4, 図 7 より, 中央橋と住吉は他のエリア間に比べ, 非常に分離が小さいことが把握された. 中央橋は, 植生域の PD が高く, 街路樹や公園, オフィスビル付近に植生が分布しており, 写真 1 のように施設主体の景観に潤いを与える要素になっていた. 城栄は, 他の 3 つのエリアと比較したとき, 図 4~7 より, 植生域の PD の分離が大きいことが把握された. これは, 城栄に護国神社付近の凝集的な植生がエリアの広範囲を占めており, パッチとしてではなく, マトリックスとして認識されていたと考えられる. 加えて, 写真 2, 3 のように商店街に街路樹はあるが, 住宅地には植生がほとんど存在していないため, 緑による潤い感や安らぎ感が不足していると捉えることができる. しかし, 浜口と住吉は植生域の PD が高いが, 住宅地や商店街には植生がほとんど存在していなかった. これは航空写真から二値を抽出する段階で植生だけでなく, 緑色であるところも植生と認識したことだと考えられる. 浜口は, 中央橋や住吉と比較したとき, 影域の PD, MPS の分離が大きいことが把握された. 写真 4 のように浜口は道路が狭いが, マンションなど高い建物が密集して, 複合的に影ができているため, 他のエリアに比べ, 圧迫感や閉塞感があったと考えられる.

### 4 結論

本研究では, 長崎市街地の航空写真から植生域と影域を抽出し, 抽出したデータから中央橋, 浜口, 城栄, 住吉, の 4 つのエリアそれぞれで, 13 個の空間統計量を計算した. 評価する前では, 4 つのエリアの中で城栄のみが他のエリアと比べ, 違いが確認できると推測していたが, 結果及び考察で述べたように浜口でも景観構造として違いが得られた. このように FRAGSTATS を用いることで, 主観的な観点を定量化でき, 見た目の数値化が可能であることが把握できた.

### 参考文献

- 1) 景観生態学: 日本景観生態学会編, 共立出版, 2022,
- 2) 望月翔太, 村上拓彦: 景観解析ソフト FRAGSTATS の使い方, 景観生態学, 16 巻 1 号, p53~58
- 3) 用途地域-長崎市: <https://www.city.nagasaki.lg.jp/sumai/650000/651000/p006992.html> 2022.11閲覧

# Assessing the stability of agriculture in the Herat province of Afghanistan using MODIS NDVI imagery

○Tariq MOSAWEE<sup>1</sup>, Masahiro TASUMI<sup>1</sup>

**Abstract:** Herat province of Afghanistan is in an arid to semi-arid climatic region, and water resources limit agricultural production. Neither detailed information on farming practices nor water resource information is easily accessible to the area, making strategic agricultural and water management difficult. We aimed to illustrate the crop production status and impact of precipitation using satellite-based vegetation data with ground-based precipitation records. Regression analysis between vegetation intensity and precipitation from 2015 to 2021 indicated that precipitation from October to April dominated wheat and barley production in the study area. Spatial analysis revealed that the impact of precipitation varied by location, where non-irrigated fields upstream are more sensitive to drought. The method of analysis used in this study is applicable to other regions having similar limitation on in-situ data.

**Keywords:** Afghanistan; Herat; NDVI; MODIS; Remote sensing; Water management.

## 1. Introduction

Afghanistan is an agricultural country with a land area of approximately 652,864 km<sup>2</sup>. Water is the lifeblood of its inhabitants, enabling life and providing the base for the economy (Akhter, 2017). Afghanistan is located in a semi-arid climate with scarce rainfall, with the rainy season from October to April (Qureshi, 2002).

Better management of agriculture and livestock and sustaining ecological conservation are required to ensure sustainable livelihood development in Afghanistan. Therefore improvements in agricultural water management are essential for this purpose. However, more data in agriculture and meteorology are needed to ensure strategic planning and management of water.

Satellite imagery has become a promising alternative data source for large-scale mapping and monitoring of croplands. The vegetation, meteorological, and water data are available even in regions where in-situ data is limited (Tasumi et al., 2014; Wali et al., 2019). We investigated the effect of precipitation on agricultural crop production in the Herat province in Afghanistan during the growing seasons of 2015-2021. We used the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) obtained from the Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) from Terra satellite (MOD13Q1; Didan and Munoz, 2019), for monitoring vegetation status with 250m spatial resolution along with ground-measured precipitation data. Our results would contribute to a better understanding of regional agricultural practices,

and the locations of agricultural fields that are sensitive to precipitation conditions such as drought. This information will help in strategic planning for sustainable crop production and water management in the region.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Study area

We conducted this study in a primarily agricultural area in Herat Province, located in the western part of Afghanistan (Figure 1). The latitude and the longitude of the study area are 34° 31' North and 62° 22' East, and the province shares 54,800 km<sup>2</sup> of land area. The province has an arid to semi-arid climate characterized by strong winds during the summer (Ganji and Kajisa, 2019). The elevation varies from 490 m in the northwest to 3,804 m in the eastern mountain. The mean annual precipitation is approximately 230 mm (Iqbal et al., 2018), and it is in a decrement trend in recent years (Rahimi and Nazarian, 2022). The major land cover types in the study area include bare lands (43.6%), rangelands (36.9%), rainfed agricultural lands (10.2%), irrigated agricultural lands (4.9%), water and snow cover (3%), forests (2.8%), and built-up areas (0.5%) (Razipoor, 2019). Agriculture is conducted primarily along the Hari Rud River. Winter wheat and barley are the primary crops; they are typically planted around November, start growing from early spring, and are harvested by May or June. We set the study area as agricultural fields with maximum NDVI in the primary growing season of wheat/barley (i.e., January to May) exceeding 0.4 for at least 1 year between 2015–2021. The targeted study area is indicated as green color in Fig. 1.

<sup>1</sup> University of Miyazaki (1-1, Gakuen Kibanadai-Nishi, Miyazaki 889-2192, Japan; E-mail: mosaweetariq@gmail.com)

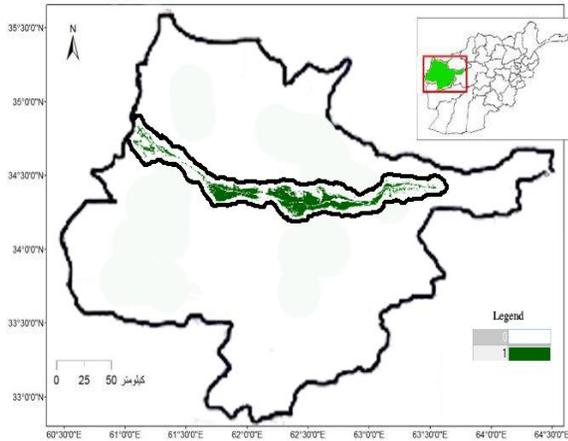


Figure 1. Location of the study area

## 2.2. Input data

MODIS-Terra 16-day, 250-meter Vegetation Indices products (MOD13Q1) were used to assess the crop conditions of Herat Province for seven years, from 2015 to 2021. NDVI was computed using red and near-infrared reflectance, which corresponds to bands 1 and 2 of MODIS, respectively:

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{R}}) / (\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{R}}) \quad \text{Eq. 1}$$

where,  $\rho_{\text{R}}$  and  $\rho_{\text{NIR}}$  are the reflectances of the red and near-infrared bands, respectively.

The NDVI values for land surface are usually between 0.1 or 0.2 for bare soil surface (value depends on soil type and surface condition) to more than 0.8 for densely vegetated cropping surface. Negative NDVI values typically indicate water, snow, iced surfaces, or specific types of rocks.

The quality precipitation records measured around the study area were not accessible. Therefore, precipitation records measured at a weather station in Mashhad, Iran, were obtained via the World Meteorological Organization (WMO). Mashhad is approximately 300 km from the study area and was the closest weather station to provide quality precipitation records. We assumed that Mashhad's precipitation might represent our study area's precipitation.

## 2.3. Data analysis

As a preliminary investigation, the vegetation and precipitation status were summarized by plotting NDVI and precipitation records to understand the

agriculture and water conditions of the study area. Then, the impact of precipitation on crop production (represented as NDVI values) was investigated using two approaches:

- (1) Investigating the period and timing of precipitation that affect crop production. This analysis was performed by comparing the maximum NDVI of the growing season and the precipitation of various periods. A period of precipitation that could best explain the peak NDVI value was identified. Following 12 candidate periods for precipitation were investigated; Sep.–Apr., Sep.–May, Oct.–Apr., Oct.–May, Nov.–Apr., Nov.–May, Dec.–Apr., Dec.–May, Jan.–Apr., Jan.–May, Feb.–Apr., Feb.–May.
- (2) Investigating the spatial stability of crop production in the study area. This analysis accounts for the number of years of successful agriculture by location. In this study, the peak NDVI values of the crop growing season exceeding 0.6 are assumed to be successful agriculture. Within the seven years of the study period, the areas with seven years of successful agriculture indicated that the area was practicing stable and robust agriculture. The areas with only a few years of successful agriculture suggested that the area was sensitive to drought.

## 3. Results and discussion

### 3.1. Result of the preliminary investigation

Figure 2 shows the annual average NDVI of the study area. NDVI rapidly increases from March, reaches its peak in April, and decreases in May, corresponding to the crop calendar of wheat and barley, where these crops start growing in early spring and reach mid-season in April. The senescence begins toward harvest in May or June. The peak NDVI values in April are small compared to a reference value of NDVI for densely vegetated surfaces (e.g., 0.8 or 0.9), primarily because the NDVI in Figure 2 is the average of the entire study area, which includes fallow or water-stressed fields, and some other minor non-vegetated surfaces such as roads and buildings.

Figures 3 and 4 present the annual and monthly precipitation of Mashhad, Iran, respectively, as the substitute precipitation of the study site in Herat, Afghanistan. The average annual precipitation for the

7 years was 228 mm, which agreed with the literature value for Herat (230 mm; Iqbal et al., 2018), with a standard deviation of annual precipitation of approximately 93 mm. As shown in Figure 4, precipitation generally begins in October or November and ends in May or June. The primary precipitation season is from January to April, which is also the season of growing wheat and barley. A significant variation in monthly precipitation was observed, probably affecting regional agriculture.

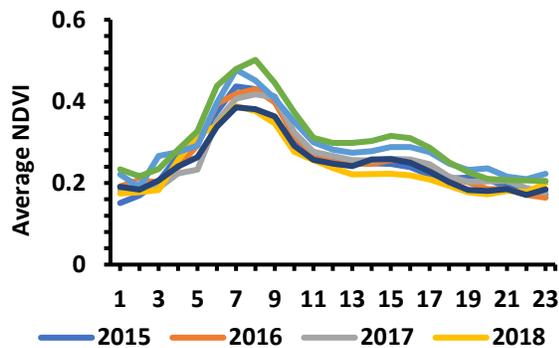


Figure 2. Average of the monthly maximum NDVI

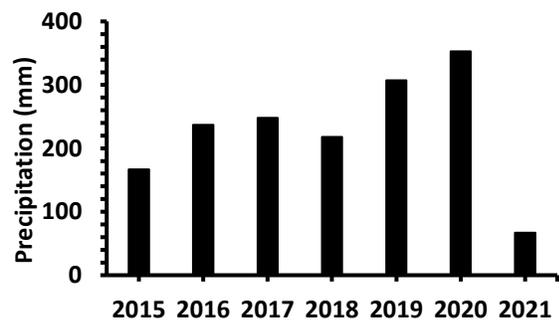


Figure 3. Annual precipitation

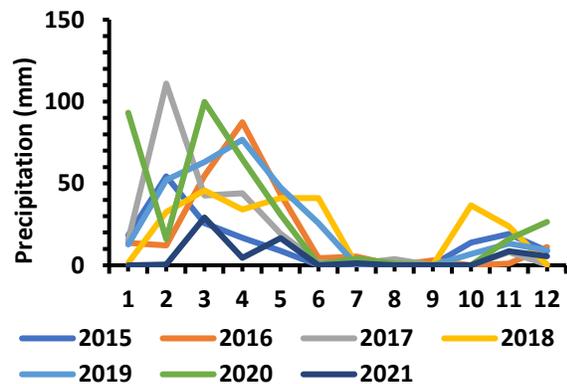


Figure 4. Monthly precipitation

### 3.2. Effect of precipitation on crop production

The regression analysis between seasonal precipitation and the average peak NDVI suggested that the October–April precipitation best explained the peak NDVI (Figure 5), with the highest coefficient of determination ( $R^2 = 0.85$ ). The  $R^2$  value decreased when the starting month of precipitation accumulation shifted to September ( $R^2 = 0.84$ ) or November ( $R^2 = 0.83$ ) or when the end month of accumulation moved to May ( $R^2 = 0.79$ ). The results indicate that precipitation during October and April is the primary water source for wheat and barley production in the study area. The statistical results agreed well with the general cropping calendar of wheat and barley. October is 1 month before planting. The precipitation during October is stored in the soil and used for plant growth. May is the period of senescence; thus, May precipitation is not very important for plant growth. The positive slope of the linear regression line indicates that the amount of precipitation positively impacts crop production. A high  $R^2$  value (0.85) suggested that the amount of precipitation is vital for crop production in the area.

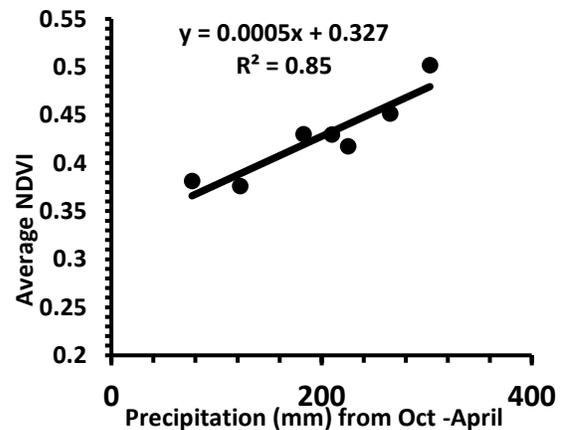


Figure 5. Relationship between October–April cumulative precipitation and average of peak NDVI in the study area

### 3.2. Spatial stability of crop production

Figure 6 shows the frequency distribution of successful agriculture in the study area. The west side (left in the figure) is upstream, and the east side (right in the figure) is downstream of the Hari Rud River. Frequently used fields cultivate crops even in years with less precipitation. Overall, fields located downstream were used more frequently. The results

shown in Figures 5 and 6 imply that upstream fields are sensitive to October–April precipitation, while the downstream fields tend to be robust for short of precipitation, probably because the areas have irrigation systems.

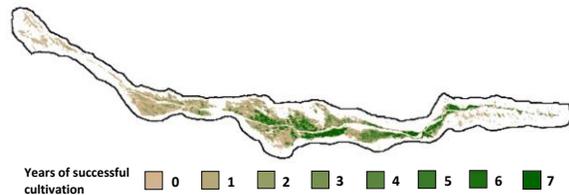


Figure 6. Frequency distribution of successful agriculture.

### 3.3. Conclusions

We analyzed the spatial and temporal changes in NDVI and the impact of precipitation on these changes using MODIS data for 2015–2021. In the regions where ground-based quality data were not easily accessible, satellite-based NDVI and precipitation data measured from an adjacent region successfully illustrated the crop production status and the impact of precipitation. Regression analysis indicated that precipitation from October to April dominantly controlled wheat and barley production in the study area. Spatial analysis revealed that the effect of precipitation varies by location, where non-irrigated fields upstream were more sensitive to drought. The long-term, 16-day NDVI product of MODIS made such a statistical investigation possible, with a spatial resolution of 250 m.

The method of analysis used in this study is applicable to other regions having similar limitation on in-situ data. More information may be obtained by investigating irrigated and non-irrigated fields separately or by extending the study period.

### References

- Akhtar, F., 2017. Water availability and demand analysis in the Kabul River Basin. *University of Bonn: Bonn, Germany*.
- Didan, K., Munoz, A.B. (2019): MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series), Vegetation Index and Phenology Lab, The University of Arizona ([https://lpdaac.usgs.gov/documents/621/MOD13\\_User\\_Guide\\_V61.pdf](https://lpdaac.usgs.gov/documents/621/MOD13_User_Guide_V61.pdf); visited Dec.28, 2022)
- Ganji, H. and Kajisa, T., 2019. Assessing reference evapotranspiration using Penman-Monteith and

Pan methods in the West region of Afghanistan. *GEOMATE Journal*, 16(56), pp.209-216.

- Iqbal, MW, Donjatee, S., Kwanyuen, B., Shi-yin, L. 2018. Farmers' perceptions of and adaptations to drought in Herat Province, Afghanistan. *Journal of Mountain Science*, 15:1741–1756.
- Qureshi, A.S., 2002. *Water resources management in Afghanistan: The issues and options* (Vol. 49): IWMI.
- Rahimi, AG, Nazarian, R. 2022. Climate Change and Barley Production in Afghanistan: A Case Study of Injil District, Herat Province. *International Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology*. 9:79-85.
- Razipoor, M.E., 2019. Assessing the vegetation Condition of Herat Province, Afghanistan Using GIS. *Applied geology and Geophysics*, 7(4), pp.92-97.
- Tasumi, M., Hirakawa, K., Hasegawa, N., Nishiwaki, A. and 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(10), pp.9260-9276.
- Wali, E., Tasumi, M., Shinohara, Y. and 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), pp.9-15.