

令和 5 年度修士論文

小笠原諸島父島における気候的攪乱に 対する植生の応答と地形的特徴

522M203 神谷賢治

三重大学大学院生物資源学研究科共生環境学専攻

地球環境学講座

フューチャー・アース学研究室

指導教員：飯島 慈裕 教授

要旨

キーワード：キーワード：小笠原諸島，植生，台風，リモートセンシング

小笠原諸島は固有の生態系が発達しており，世界自然遺産に登録されるなど今後保全をしていくことが重要な地域として注目されている．そのような小笠原諸島はたびたび台風や干ばつなどの気候的攪乱にさらされることがある．そういった攪乱に対して植生がどのように応答するのかを地形的な特徴を踏まえて明らかにすることを目的とした．

方法は衛星写真より小笠原諸島父島の台風の攪乱前後とその後 1 年程度の正規化植生指数 (NDVI) を解析し，攪乱が起きたであろう地点の抽出とその後の NDVI の変遷を解析した．また現地調査によりどのような植生が台風の影響で攪乱を受けたのかを調査した．

結果としては NDVI の値より台風後は攪乱により NDVI 値が低下するものの夏季になるまでに植生が回復していると考えられる地点がほとんどであった．また現地調査ではモモタマナやハスノハギリといった葉の大きな植生やシマグワやギンネムといった落葉しやすい植生に攪乱がみられることが明らかとなった．また，現地では台風の攪乱後に生えてきたと思われる下層植生が多く見られた．

調査後にポイントベースで NDVI 値を抽出したところモモタマナやハスノハギリの葉の大きな群落では赤色光の反射率，近赤外光の反射率共に値が大きくなり，そのほかの植生ではともに小さくなる結果が出た．

台風による攪乱は島全体で植生に影響を与えており，特に湾に面した地点や谷筋，南向きの斜面では顕著に NDVI 値の低下がみられておりそのような地点は多くの被害を受けたのではないかと考えられた．現地調査より葉の大きな植生では多くの攪乱が発生していると考えられ，台風の強い風により葉が飛んだ可能性が考えられる．また，台風は多量の海水を巻き上げながら通過するため塩害が発生し，落葉しやすいギンネムやシマグワの木は落葉し攪乱として抽出されたのではないかと考えられた．

小笠原諸島の攪乱は植生ごとに様々な応答をするため，さらに細かい解析が必要だと考えられる．

1. はじめに

1.1 研究背景

小笠原諸島は東京都の南、約 1000 km に位置する海洋島である。形成以来大陸から隔離した海洋島のため、島の生物は独自の進化を遂げており、「東洋のガラパゴス」とも呼ばれるほど固有種が多く、貴重な動植物が多いことで世界遺産に登録されている。一方で、人間が持ち込んだ生物や島の開発などが原因でオガサワラオオコウモリやオガサワラノスリ、アカガシラカラスバト、ハハジマメグロなどの動物やムニンツツジ、ムニンノボタンといった植物など、いくつかの固有種は絶滅の危機に瀕している。

小笠原諸島に到達した植物の多くは東南アジアや沖縄方面にその起源があると考えられている。代表的な種としてはムニンヒメツバキ、テリハハマボウなどの小笠原固有種が挙げられるが、一方で固有種となっていない種も見られる。

また、小笠原の自然環境の特徴の一つとして乾性低木林の存在が挙げられる。冬も温暖な気候であり、夏季に乾燥した時期が続くという現在の小笠原群島の気象環境の中で形成されたと考えられている。

また、小笠原諸島は太平洋上にあるため台風による被害が出ることもあり、度々島の植生や人々の生活に被害を出している。過去には 1983 年台風 17 号や 2002 年台風 9 号のように島全体に大きな被害を出した台風があり、その度に島の植生に大きな影響を及ぼしてきた。

一方でこのような中、気候的攪乱に対する植生の応答とその地形的特徴に言及した研究はあまりなされていないことが現状である。

1.2 先行研究

1.2.1 小笠原諸島母島石門における湿性高木林の生態と更新様式－17 号台風（1983）による攪乱とその後の回復過程（清水 1994）

清水(1994)によって 1983 年台風 17 号の植生への被害とその後の回復過程についてまとめられていた。

方法は、台風被害直後に山道沿いの被害個体の種名、被害の種類(根返り、幹折れ)、樹高等を記録したラインセンサス調査（1984 年 3 月）、石門に設置した 30m×30m の方形区（小調査区）で台風被害以前（1977 年 9 月）と以後（1987 年 7 月）に同様の毎木調査を行い被害の実態と被害後の推移をみた小調査区における比較調査、小調査区を一部に含む 50m×100m の方形区（大調査区）において、大径木、倒木、林冠ギャップ等の配地図作成と胸高直径 5cm 以上の個体の毎木調査などを行なった大調査区における植生調査の 3 つの調査が行われた。

台風後の回復過程についての考察では、台風により林冠ギャップが生じた際には林床で埋土種子となっていたアコウザンショウやタイワンソクズのほか、当年種子の植物や、耐陰性のある植物がそれぞれの地で確認されており、生存競争の結果枯死するも

のやそのまま定着する樹種が出てくると考えられる。

さらに、アカギについては旺盛な繁殖力により台風の攪乱に乗じて分布を広げ在来種を駆逐しつつあり、本来は林冠ギャップに依存する陽樹的な種であるが、真の陰樹の欠ける小笠原では相対的にアカギの陰樹的側面が有効に働いて湿性高木林に侵入できると考えられる。また、湿性高木林の保全のためにはアカギの駆除対策について考える必要がある。

1.2.2 小笠原諸島父島における自然草地・裸地の分布とその成立環境(水野 et al.1992)

水野ら(1992)は簡易測量と平板測量、地形断面図の作成、トランセクトによる植生の分布と植生の群落区分を行い、父島にパッチ状に分布する草地、裸地を取り上げ、その分布と成立環境の関係を明らかにすることを目的として調査を行った。

調査地を2地点調査した結果は、父島の植生を林地、草地、自然裸地、人工裸地に区分、作図し草地、自然裸地の分布に注目するとそれらは南一東斜面、山頂付近、および谷沿いに多いことが判明した。

調査地1では樹木はおもに斜面下方に分布し、稜線付近に生育している樹木は多くが変形樹になっている。したがって、稜線付近は草本、斜面下方には樹木というすみわけには風が最も強い影響を及ぼしていると考えられる。

特に小笠原諸島は台風の影響を受けやすく、その影響が大きいと考えられる。ただし、稜線付近の樹木を最初に欠如させた要因は強風に限らず、人為的なものも含めて様々な要因が考えられる。しかし、樹木の後退後の再進出を制限している要因となると風が最も重要な要因と考えられる。

調査地2では植物がきれいにすみわけしており、一般に樹木は尾根や上流部に分布し、下流の谷底周辺には生育していない。この下流部の谷底周辺の樹木の成立の制限には風が特に影響を及ぼしていると考えられる。

風の収斂が見られる区域では樹木の成立が制限されており、風の弱い区域では低木が浸入しているため、風が植生分布に影響を及ぼしていることを示している。

1.3 目的

先行研究でも述べられているように植生の応答について現地調査によって述べられているものは多いが、リモートセンシングの観点と現地調査により攪乱に対する植生の応答を述べられたものは少なくなっている。

本研究では小笠原諸島父島の植生に着目して、台風で起きた攪乱に対して小笠原諸島父島ではどのような植生の応答をしており、それがどのような地形条件で起きているかを明らかにすることを目的とした。

2. 使用データ・研究手法

2.1 対象地域

本研究での対象地域は小笠原諸島父島とした。小笠原諸島は、東京都小笠原村の行政区域を指す。東京都特別区の南南東約 1, 000 キロメートルの太平洋上にある 30 余の島々からなり、総面積は 104 平方キロメートルあり、父島は 23.45 平方キロメートルの面積がある（図 1, 2）。

2.2 使用データ

2.2.1 衛星写真

正規化植生指数（NDVI）の算出のための衛星写真は Planet explorer (<https://www.planet.com/explorer/>) より該当地域の衛星写真データをダウンロードし使用した。

台風の攪乱を抽出するために台風通過前のデータとして 2019 年 10 月 18 日の衛星写真、台風通過後のデータとして 2019 年 11 月 8 日の衛星写真をダウンロードし使用した。それ以降の衛星写真データは調査地ごとに約 1 か月周期で晴れた雲量の少ない日を抽出し使用した。

2.2.2 数値標高モデル(Digital Elevation Model : DEM)

DEM は 2 次元平面上の任意地点の標高値データであり、本研究では基盤地図情報ダウンロードサービスより数値標高モデル(10m メッシュ)のデータをダウンロードし使用した (<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>)。国土地理院が基本測量として作成し、作成方法は 2.5 万分 1 地形図の等高線から 0.4 秒（約 10m）メッシュの中心点の標高値を内挿処理により決定する方法で作成されている。標高精度は標準偏差で 5.0m 以内となっている。さらにこの DEM のデータを使用して斜面傾斜、斜面方位、凹凸度を算出した。

斜面傾斜は ArcMap 上で[傾斜角(Slope)]ツールを使用し、対象セルとその近隣セルとを比較し、それらの値の最大変化率を計算した。原則として、対象セルとその 8 つの近隣セルの高度を比較したとき、距離に対するそれらの最大高度変化が、対象セルからの最も急な降下傾斜となる。

理論的には、処理対象セルを中心とする 3x3 近傍セルの Z 値に合わせた平面を想定する。この平面の傾き値は、平均最大法を用いて計算される。この平面の向きは、処理対象セルの傾斜方向になる。傾斜角の値が小さくなるほど地表は平らになり、傾斜角の値が大きくなるほど地表が急勾配になる。

いずれかの近傍セルの Z 値が No Data である場合、中央セルの Z 値がそのセル位置に割り当てられる。ラスターの端では、少なくとも 3 つのセル（ラスター範囲の外側）の Z 値が No Data になる。これらのセルには中央セルの Z 値が割り当てられる。その

結果、ラスターの端のセルに合わせた平坦な 3 x 3 平面が形成され、通常は傾きが減少する。

斜面方位は ArcMap 上で[傾斜方向 (Aspect)]ツールを使用し各セルから近傍に向かって下りの傾斜角が最大の方を特定する。傾斜方向は、斜面の方向と考えることができる。出力ラスターの各セルの値は、その位置でサーフェスが向いているコンパス方向を示している。傾斜方向は、0 度(真北)~360 度(真北)で右回りに計測される。下り方向のない平坦な領域には-1 という値が割り当てられる。

凹凸度は ArcMap 上で[曲率(Curvature)]ツールを使用し、入力サーフェスの二次導関数値をセルごとに計算する。セルごとに、次の四次多項式

$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$$

が 3 x 3 の枠で構成されるサーフェスに適用される。係数の A, B, C などは、このサーフェスから計算される。負の値は、サーフェスがそのセルで上方向に凸状であることを示し、正の値はサーフェスがそのセルで上方向に凹状であることを示し、ゼロの値はサーフェスが直線であることを示す。

2.2.3 日本域高解像度土地利用土地被覆図【2018~2020 年】(バージョン 21.11)

ALOS 利用推進研究プロジェクトにより作成された日本域高解像度土地利用土地被覆図【2018~2020 年】(バージョン 21.11) をダウンロードし利用した (https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/lulc/lulc_v2111_j.htm)。

宇宙航空研究開発機構(JAXA)地球観測研究センター(EORC)は、人工衛星で観測されたデータを活用して、地域や国レベルを対象とした高解像度(約 10m メッシュ)の土地被覆分類図を作成している。これらは生態系評価(動植物の生育・生息域、各種生態系サービス)、資源管理(農林水産業、景観等)、災害対策(洪水・土砂災害等)等、地域・国土の保全の基盤情報として活用することを目的としている。欧州の Sentinel-2 衛星および米国の Landsat-8 衛星(いずれも光学センサ)、そして日本の ALOS-2 衛星(合成開口レーダ PALSAR-2)のデータを使用して 12 カテゴリー(水域、都市、水田畑地、草地、落葉広葉樹、落葉針葉樹、常緑広葉樹、常緑針葉樹、裸地、竹林、ソーラーパネル)に精度 88.85%で分類された土地利用土地被覆図を利用した。

2.2.4 植生図

環境省自然環境局生物多様性センターのデータを使用した

(<https://www.biodic.go.jp/>)。

自然環境保全基礎調査植生調査(以下、植生調査という。)は、自然環境保全施策の推進等において重要な資料となる現存植生図を全国的に整備、全国の植生現況を把握することを目的に、1973 年度実施の第 1 回植生調査以降、40 年以上に渡り継続して実施している調査である。なお、日本の国土のうち北方領土は除いている。

第1回調査では、日本全体の植生現況の科学的な把握を目的として実施され、その結果縮尺 1/20 万の現存植生図が都道府県毎に初めて整備された。

さらに 1979～1986 年度にかけて実施された調査では、より詳細な全国の植生現況の把握と地域レベルの計画に対応できる現存植生図の作成を目的に、全国の縮尺 1/5 万現存植生図（以下、1/5 万植生図という。）1, 293 面が整備された。

1989～1998 年度には、各回の経年変化を効率的に把握するため、1979～1986 年度に作成された 1/5 万植生図をもとに人工衛星データを活用し、植生が変化した部分を修正した植生改変図が作成された。

1999 年度以降、現存植生図の全面更新が 20 年間なされていないこと、環境影響評価法の施行に伴う環境アセスメントの基礎資料としての現存植生図への要望が高まったことを受け、縮尺 1/2.5 万植生図の作成を継続して実施している。

本研究では 2005 年までのデータをもとに作成されたデータを使用した。

2.2.5 台風情報

本研究では 2019 年台風 21 号に注目して解析をした。

2019 年（令和元年）10 月 19 日、トラック諸島近海で発生した台風 21 号は、24 日から 26 日にかけて日本の東を北上した。台風は太平洋上を進み、直接日本列島に上陸こそしなかったものの、小笠原諸島のすぐ西側を 10 月 24 日に接近通過し、最大瞬間風速 52.7m/s を観測した（図 3）。

気象庁・過去の台風資 (<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/index.html>)。

2.3 研究手法

2.3.1 正規化植生指数（NDVI）の計算

正規化植生指標(NDVI)は、植生の有無・活性度を表す標準化された指標である。

NDVI 処理では、植物が持つ太陽放射エネルギーのスペクトル反射特性を利用し、赤色のバンドと近赤外(NIR)バンドの反射量の差分から植物の成長の密度や相対活力を監視できる。健全な植物は一般に、目に見える波長領域よりも近赤外の波長領域で高い反射を示す。植物が水分の欠乏によるストレスや病気、枯死しているような場合、植物の黄色の色合いが強くなり、近赤外領域の反射が著しく減少する。赤外波長は雲、水、雪に吸収され、岩や地表による赤色のバンドと同じように反射する。負の値は、雲、水、雪を表し、ゼロに近い値は岩や地表面を表している。

モニターリングと予測、火災危険ゾーンの予測支援や砂漠化の把握などに頻繁に使用される。また、NDVI は、日照条件、地表面の傾斜角度、傾斜方向やその他の外的要素の影響を補正できる点から、世界規模の植生モニターリングに適している。

NDVI の計算式は次のとおり。

$$NDVI = ((IR - R) / (IR + R))$$

IR=赤外バンドのピクセル値

R=赤色のバンドのピクセル値

この科学的指標は、-1.0～1.0 の範囲の値を出力する。これは植物の密度と活力を表すものである。負の値は主に雲、水、雪から生成され、ゼロに近い値は主に岩や地表から生成。NDVI の値が非常に低い(0.1 以下)場合、岩、砂、または雪に覆われた不毛地帯を表している。中程度の値(0.2～0.3)は低木や草原を表し、高い値(0.6～0.8)は温帯林および熱帯雨林を示している。

(Esri NDVI 関数 (<https://pro.arcgis.com/ja/pro-app/latest/help/analysis/raster-functions/ndvi-function.htm>))

本研究では入手した衛星写真を Python を利用して値を補正し、NDVI 値を計算した後に GIS ソフトで出力し使用した（補正方法は以下のサイトを参考に行った (<https://developers.planet.com/docs/planetschool/calculate-an-ndvi-in-python/>))。

2.3.2 攪乱域の抽出

台風の攪乱域の抽出は台風通過前（2019 年 10 月 18 日）の NDVI 値のデータと台風通過後（2019 年 11 月 8 日）の NDVI 値のデータの差分を計算し、差分画像から攪乱域を抽出した。抽出方法は GIS 上で差分画像の値の 0.2～0.5 を閾値として抽出し、ポリゴン化することで 6 地点を攪乱域として研究を進めた。差分が 0.5 以上の地点は雲の影響が出ていると考えて抽出しないようにした。

その後、各攪乱域内で NDVI 値がどのように変化したかデータを抽出した。また、地形データについても攪乱域のポリゴンデータをもとに抽出した。

2.3.3 現地調査

本研究では 2023 年 10 月 31 日から 11 月 10 日で現地調査を行った。現地調査では攪乱域の植生がどのようなになっているかを調査した。

2.3.4 ポイントベースでの解析

現地調査の結果をもとに特定の植生が生えていた場所のポイントをもとにポイントベースでの NDVI 値の解析を行った。また、ポイントごとの NDVI 値の赤色光の反射率と近赤外光の反射率の実測値がどのような値になっているかの解析も行った。

3. 結果

3.1 調査地の抽出

2.3.2 の方法で 6 か所の地点を攪乱域として抽出した (図 4).

調査地①

父島北西に位置した三日月山のがけ崩れ跡にある北西向きの崖錐斜面であり、在来の植生とギンネムやモクマオウといった外来種もみられる地点 (図 5).

調査地②

旭山の南向き斜面で、イネ科の草本植物や乾性低木林のような植生がみられる地点。ほかの地点に比べて植生は少ない (図 6).

調査地③

初寝浦とよばれる東向きの斜面で乾性低木林やムニンヒメツバキのような小笠原諸島固有の植生が多くみられる地点。標高の低い砂浜付近には海岸によくみられるモモタマナも多く生息している (図 7).

調査地④

父島の南に流れる八瀬川流域の西向きの谷筋。上流では小笠原諸島固有の植生が多くみられ、中流域では外来の植物や固有の植物、植栽された場所が入り混じっていた。下流域では海岸によくみられるモモタマナやハスノハギリ、オオハマボウが河川に沿って生息している (図 8).

調査地⑤

南東向きの中海岸を囲む斜面で乾性低木林や小笠原諸島固有の植生が多く見られ、海岸付近では海岸によくみられる植生が生息している (図 9).

調査地⑥

南西向きのブタ海岸につながる谷筋の植生で、海岸付近の植生のモモタマナやハスノハギリ、オオハマボウが多く見られる (図 10).

3.2 NDVI 値の変動と地形的特徴

3.1 の調査地において攪乱として抽出された地点での NDVI 値の平均値の変動を台風の接近後約 1 年について解析した。また、地形的特徴については、調査地の黒枠内の地形データと、抽出した攪乱域内での地形データを比較した。

3.2.1 調査地①について

調査地①については図 11~17 のようになった。台風前には攪乱域内で平均 0.83 あった NDVI は 0.60 まで減少していた。その後は緩やかに値が上昇していき、翌年 7 月には台風前よりも大きな値 0.86 となったデータもあった。一方で 8 月以降は値が上下するようなデータとなっていた。地形データについては標高 70m~80m 付近で多くの攪乱を抽出しており、斜面傾斜は比較的緩やかな 5 度~15 度付近で多くの攪乱を抽出

していた。斜面方位では北西向きの斜面が多く抽出されていた。

3.2.2 調査地②について

調査地②については図 18～24 のようになった。台風前には攪乱域内で平均 0.71 あった NDVI は 0.49 まで減少していた。その後は緩やかに値が上昇していき、翌年 10 月には台風前と同程度の大きな値 0.69 となったデータもあった。一方で 10 月以降は値が上下するようなデータとなっていた。地形データについては標高 100m 以下の地点の攪乱を抽出しており、斜面傾斜は比較的急な 40 度以上の斜面で多くの攪乱を抽出していた。斜面方位では南向きの斜面が多く抽出されていた。

3.2.3 調査地③について

調査地③については図 25～31 のようになった。台風前には攪乱域内で平均 0.75 あった NDVI は 0.50 まで減少していた。その後はデータが大きく上下しており特徴は見いだせなかった。地形データについては標高 70m 以下で多くの攪乱を抽出しており、斜面傾斜は比較的急な 30 度～40 度付近で多くの攪乱を抽出していた。斜面方位では東向きの斜面で少なく南向きの斜面が多く抽出されていた。

3.2.4 調査地④について

調査地④については図 32～38 のようになった。台風前には攪乱域内で平均 0.78 あった NDVI は 0.55 まで減少していた。その後は緩やかに値が上昇していき、翌年 7 月には台風前と同程度の大きな値 0.80 となったデータもあった。調査地①～③とは異なり比較的安定した値で推移していた。地形データについては標高 30m 以下で多くの攪乱を抽出しており、斜面傾斜は比較的緩やかな 5 度～10 度付近で多くの攪乱を抽出していた。斜面方位では北西から北向きの斜面が多く抽出されていた。

3.2.5 調査地⑤について

調査地⑤については図 39～45 のようになった。台風前には攪乱域内で平均 0.73 あった NDVI は 0.51 まで減少していた。その後は緩やかに値が上昇していき、翌年 2 月下旬には台風前と同程度の大きな値 0.72 となったデータもあり、その後は高い値で安定した推移をしていた。地形データについては標高に関しては比較的まんべんなくどの標高でも攪乱を抽出しており、斜面傾斜は比較的急な 35 度付近で多くの攪乱を抽出していた。斜面方位では南東向きの斜面が多く抽出されていた。

3.2.6 調査地⑥について

調査地⑥については図 46 のようになった。台風前には攪乱域内で平均 0.83 あった NDVI は 0.60 まで減少していた。その後はデータが大きく上下しており特徴は見いだ

せなかった。地形データについては攪乱域自体が面積的に少なかったため地形解析には向いておらず省略した。

3.3 現地調査

本研究では2023年10月31日から11月10日で現地調査を行った。

3.3.1 調査地①について

調査地①では大きなアカギやガジュマルの木の倒木が見られたり、若い下層植生が多く見られたりしており、大きな攪乱が起きた可能性は高かった。この地点で歩くことができた範囲では高木としてモモタマナ、シマグワ、ハスノハギリ、テリハボク、アカギが確認できた。低木としてアカギの幼樹やモクタチバナが見られた。主にモモタマナやシマグワ、ハスノハギリの生えている地点で攪乱を抽出しており、テリハボクはあまり攪乱が起きなかったのではないかとみられた。

下層植生には陽樹のアカギやモクタチバナが繁茂しており、生育状況がそろっておりアカギの樹高は3mほどとなっていた。また、過去に大きな攪乱があったと思われる地点がいくつもあり、地面に対して垂直に生えている植生と斜めに生えている植生が入り混じった地点が見られた。

また、以前人が生活していた形跡があり二次林と考えられる場所が多くみられた。

3.3.2 調査地②について

調査地②では草本が多く見られた。植生図ではホナガソウ群落となっているがアイダガヤとみられるイネ科の植物が見られた。木本については、乾性低木林のような植生が多く、あまり攪乱を受けていない様子だった。ランタナという外来の植物が生えている場所では攪乱が少なかった。道沿いや谷筋付近ではモモタマナとみられる植生が攪乱を受けていた。

3.3.3 調査地③について

調査地③では斜面中腹では倒木や枝折れによるギャップが見られ、そこに下層植生が浸入していることが確認できた。コブガシやムニンヒメツバキが倒木となりそこへホナガソウやランタナが侵入している地点も確認できた。海岸近くになると、モモタマナ、ハスノハギリ、テリハボクの群落が目立ち、モモタマナやハスノハギリで攪乱が起きた様子だった。小笠原諸島固有の乾性低木林ではほとんど攪乱は確認できなかった。

3.3.4 調査地④について

調査地④では川の上流ではムニンヒメツバキやアカテツ、シマイスの植生が多くみられ、倒木や枝折れによる攪乱が考えられた。下層にはシダ植物が生い茂っており新た

な下層植生とみられる植生はあまり見られなかった。実際にリュウキュウマツが倒れ、攪乱となったと考えられる地点が見られた。下流では川の上にせり出している枝葉や道路に被っていた植物が攪乱を受けたであろう場所が多く見られた。海岸付近ではモモタマナ、ハスノハギリの植生が見られ、攪乱が起きたのではないかと考えられた。また、モモタマナやアコウといった樹種でピンポイントの攪乱を抽出しているのではないかと考えられる地点がいくつか見られた。父島の中でも最大規模のハスノハギリ群落があり、そこでは攪乱が起きたとされているが、痕跡としては若いハスノハギリが多く見られるという様子だった。

3.3.5 調査地⑤について

調査地⑤では山が険しかったため上から見下ろすという形とはなったが、海岸付近のモモタマナやハスノハギリ、オオハマボウとみられる群落が攪乱を受けたのではないかと考えられた。植生図よりもモモタマナの生育範囲が広く確認された。また、谷に川が流れておりその部分では下層植生は少ないように見られた。この地点でも調査地③のように乾性低木林がみられる地域であるがほとんど攪乱は確認できなかった。

3.3.6 調査地⑥について

調査地⑥では植生図上では海岸近くのモモタマナ、ハスノハギリの群落で攪乱が起きたとされていたが、ハスノハギリがほとんどの植生となっていた。上流にも多くのモモタマナが生育していることを上から確認しているが、NDVI の差分を見る限りでは地点⑥の内陸に生育しているモモタマナは被害を受けていない様子だった。

3.4 ポイントベースでの解析

現地調査より、モモタマナの生息している地点で多くの攪乱が起きている傾向がみられ、さらに解析をした。

調査地①について、ポイントデータを取得し、モモタマナの生息している地点のデータとそれ以外の植生が生息している地点のデータで比較した。

モモタマナの生息していたポイントではそれぞれほぼ同様の NDVI の値の変化をしており、攪乱後の翌年 1 月にはある程度の値まで回復していた。一方でランダムにポイントを抽出した場合にはモモタマナのみを抽出した場合に比べて、台風攪乱後に低い値で推移するポイントが見られた。(図 47, 48)

調査地④についても、モモタマナの生息しているポイントを現地調査で入手していたため同様に NDVI の値の推移をポイントデータで取得したところ調査地①と同様に台風攪乱後の翌年 1 月にはある程度植生が回復している地点がほとんどであった。一方でランダムにポイントを取得した場合にはこちらも調査地①と同様にモモタマナと同様な値の推移をしている地点と台風攪乱後にしばらく低い値で推移する地点が見ら

れた。

3.5 ポイントデータの内部値の解析

調査地①について NDVI を計算する前の衛星写真より、赤色光の反射率と近赤外光の反射率の値を抽出し比較した。モモタマナのためのポイントの比較では台風通過前の赤色光の値は 296～356 の幅での変化、近赤外光の値は 2129～3621 の幅での変化があった。台風通過直後の値は赤色光の値が 514～632 の幅での変化、近赤外光の値が 1527～2231 の幅での変化だった。台風通過後の植生が回復すると思われる期間の値の変化は、12 月に赤色光の値が 352～376、近赤外光の値が 1945～2709 の幅での変化であった。その後は翌年 2 月ごろまで赤色光、近赤外光の値はほぼ同様の値をとっていた。翌年 3 月以降は赤色光が 300 付近で変動しているデータと 400 付近で変動しているデータが見られた。（図 49～52）

ランダムにポイントを抽出したデータで解析した場合にはモモタマナのみを抽出した場合と比べて赤色光の値が 150～250 で推移し、近赤外光の値が 300～600 付近で推移しているデータが見られた（図 53～56）。

調査地②についても同様に赤色光の値と近赤外光の値をポイントベースで解析した。こちらでは調査地①とは異なり、赤色光の値にばらつきがあり、600～1050 ほどまでの値を抽出していた。近赤外光の値については 1800～2700 ほどでばらつきがあった（図 57）。

さらに現地調査では道路に被っている植生が葉を落としたため攪乱として抽出されていると思われる地点がいくつか確認できたため、そのような地点についても赤色光の値と近赤外光の値について解析をした。その結果赤色光の値が植生のある部分で抽出したデータよりも高い値（800 以上）をとっていた。

4. 考察

4.1 現地調査を考慮した各調査地の NDVI 値の平均の変動と地形的特徴

4.1.1 調査地①

調査地①については台風通過直後に攪乱によって NDVI 値が低下し、徐々に回復していったとみられる。

主に北西向きの斜面で山の裾野に当たる部分の比較的平らな地点での攪乱が多かったのではないかと考えられる。

現地調査ではモモタマナ、シマグワ、ハスノハギリが生息していることが確認され、そのような海岸近くで台風の潮風による塩害を受けやすく落葉しやすい樹種が攪乱を受けたのではないかと考えられる。

谷本ら(1996)によるとアカギの成長速度は発芽から 4 年で 3 m ほどになるとされており、現地で観察できたアカギは 2019 年の台風後に発芽し成長したのと考えられる。

4.1.2 調査地②

調査地②については調査地①と同様に台風通過直後に攪乱によって NDVI 値が低下したが、植生の回復は他の調査地と比較すると少し遅い。

要因としては斜面が南向きの斜面傾斜の大きい地点であったため台風の風が強く当たり回復するまでに時間がかかるようなダメージがあったことが考えられる。

また、攪乱が起きたと考えられる範囲はほとんどがイネ科の草本と考えられ、新たな芽が生えてきていても NDVI 値に反映されるほどの成長ができていないということも考えられる。

4.1.3 調査地③

調査地③については NDVI 値の平均値が衛星写真の日付によってばらつきがあり、正確な値といえるかは検討が必要である。外れ値と思われる値を省いた場合は、翌年 3 月頃までは植生の回復傾向がみられるため、ある程度の植生の回復はあったのではないかと考えられる。

地形的な観点で攪乱が起きた地点をみると、標高が低い斜面傾斜が大きく北向きと南向きの斜面で多くの攪乱が抽出されているため、谷筋で多くの攪乱が起きたと考えられる。

4.1.4 調査地④

調査地④については調査地①と似た平均値の動きをしており、台風通過後に NDVI 値が低下した後は翌年 3 月頃までには回復していた。要因としては常緑樹が多いため攪乱が起きた後にも新たな葉が生えてきたため回復したと考えられる。

地形的な観点から攪乱が起きた地点をみると、標高と斜面傾斜が低く、北向きの斜面

で多く攪乱が起きているで、台風通過時に山から吹き下ろすような形の風によってその斜面で攪乱が起きたと考えられる。

4.1.5 調査地⑤

調査地⑤については調査地①、調査地④と似た平均値の動きをしており、台風通過後に NDVI 値が低下した後は翌年 3 月頃までには回復していた。要因としては他調査地と同様に常緑樹が多いため攪乱が起きた後にも新たな葉が生えてきたため回復したと考えられる。

地形的な観点から攪乱が起きた地点をみると、標高 140m～180m 付近で攪乱が多く、80m～100m 付近でも攪乱がみられており、斜面傾斜に注目すると 35 度～40 度の斜面で多くなっており、その攪乱の多くは南向きの斜面で起きていた。この地点でも他の地点と同様に南からの強風が吹き、その強風を受けた斜面で多くの攪乱が起きたと考えられる。

4.1.6 調査地⑥

調査地⑥については調査地③と同様に NDVI 値の平均値が衛星写真の日付によってばらつきがあり、正確な値といえるかは検討が必要である。外れ値と思われる値を省いた場合は、翌年 1 月頃までは植生の回復傾向がみられるため、ある程度の植生の回復はあったのではないかと考えられる。一方で 3 月～7 月頃までには低い NDVI 値で推移するデータがあり、一概に台風前までの植生に再生したとは言えないのではないかと考えられる。

地形的な観点では、調査地⑥については調査地が狭く十分な値を得られなかったため今回は省略した。

4.2 ポイントベースでの解析について

調査地①の植生について現地調査で入手した位置情報をもとにポイントベースでモモタマナの NDVI 値を抽出した結果、ほとんどの地点で同じような値の推移をしていた(図 47)。また、ランダムにポイントを抽出したポイントではモモタマナのポイントを抽出したデータと似たような値の推移をするポイントと、モモタマナとは異なった値の推移をするポイントに分かれた(図 48)。このことよりモモタマナのポイントでは類似した植生を抽出しているのではないかと考えられる。

ここで、調査地①のポイントデータの NDVI 値を計算する前の赤色光の反射率と近赤外光の反射率についてそれぞれどのような値だったのかを解析した。その結果、図のようになったがモモタマナのポイントでの値とそのほかの植生と考えられるポイントでの値で赤色光と近赤外光の値が異なっていた。

まず、モモタマナの内部値について、台風前のデータでは赤色光が低く、近赤外効果

高い値を示していたところから台風後には赤色光の値が大きくなり、近赤外光の値が小さくなっていることから植生の量が減り攪乱が起きたことが読み取れる。その後は赤色光の値は台風前と同様の値まで戻ってはいるが、近赤外光の値が低い値で推移していた。このことより、植生が回復してはいるが、層としては薄い植生が回復していると考えられ、森林の樹冠の植生が回復している、もしくは下層植生の成長を観測していると考えられる。現地調査ではモモタマナの森林の中には高さ 3m ほどのアカギの幼樹も見られたため下層植生の成長を観測していた可能性は大いに考えられる。また、台風前のモモタマナの植生の近赤外光の値の平均は約 3000 ということを考慮すると 2020 年 7 月頃以降は近赤外光の値が 3000 を超えてくるデータが多くなり、この頃には樹冠の植生が回復し葉が多く重なっている様な状態へと戻っていると考えられる。

さらに、下層植生がどのような植生なのか比較するために調査地②についてポイントデータで NDVI 値の内部値がどのようなになっているのかを解析したところ図 57 のようになった。このことより、調査地②では草本がほとんどの地点ということを考慮すると、かなりばらついた値で回復しているため、調査地①で赤色光の値と近赤外光の値がどちらも低い値で推移した植生は草本ではなかったと考えられる。また、道路の上で攪乱が起きたと考えられる地点では図 58 のようになっており、赤色光の値として 550 ~1020 の値をとっておりこれは地表面の値を抽出していると考ええると、調査地②の攪乱直後に観測された赤色光の値はほとんどが地表面の値であったと考えられる。

また、NDVI 値のポイントデータで攪乱後に低い値で推移していたデータと、内部値のポイントデータで赤色光の値と近赤外光の値がどちらも低い値で推移していたポイントが同様の地点であったことが判明した（NDVI 値のデータでの plot 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17）。ここでさらにこのプロットの地形量について 10mDEM をもとに抽出したが、大きな違いは見られなかった。しかし、地形図を見た場合これらのプロットは 8 地点中 4 地点で等高線の間隔が狭い傾斜の大きな場所にあった。また、植生図をもとにその地点の植生を調べると、8 地点中 7 地点でギンネム、シラゲテンノウメの植生となっておりどちらの植生も葉の大きさが小さい植生であった。このことより、上記のようなデータになるのは地形的な条件よりも植生の条件が強く働くと考えられる。

4.3 攪乱に対する植生の応答について

4.3.1 モモタマナのような植生について

本研究では植生としては特にモモタマナについて注目して研究を進めてきた。モモタマナの植生の攪乱後の植生の応答としては、攪乱で葉が落葉した後に樹冠がなくなったことにより地表まで太陽光が届くようになり、埋土種子として地中に存在していたアカギやモクダチバナといった植物が成長をはじめ、その後はもともと生い茂っていたモモタマナなどの高木で樹冠が覆われていくと考えられる。落葉に関しては、モモ

タマナは海岸植生であり、台風の際に潮風を多く受けるため、塩害によって落葉が促進されると考えられる。

現地調査では攪乱が起きたと思われる地点の林床ではモモタマナの幼樹はほとんど見られなく、今後長期的には、植生の更新が行われるとアカギが占有していくことも考えられる。

4.3.2 草本について

調査地②のような草本がほとんどの植生では攪乱後には新しい植生が侵入する部分が一部あるが、基本的には繰り返し草本が生えてくると考えられる。しかし、外来種のランタナが昨今侵入しているとのことで、現地でも観測されたため今後そのような植生が優占する可能性も考えられる。

4.3.3 常緑樹について

先に記したように本研究ではモモタマナに注目して研究していたが、現地調査ではそのほかの植生（ムニンヒメツバキ、アカテツ、コブガシ、シマイスなどの常緑樹）についても攪乱が見られた。ほとんどは倒木や枝折れによるもので小さなギャップにランタナやホナガソウ、アコウザンショウといった下層植生が侵入していると考えられた。アコウザンショウについてはある程度樹冠の植生が回復すると日照不足により枯れてしまうようで、立ち枯れしている様子が見られたためアコウザンショウと常緑樹でのサイクルがあると考えられる。一方でランタナやホナガソウが侵入している地点では林床一面に生い茂っているため、新たな木本の侵入や成長は難しいのではないかと考えられる。

4.3.4 乾性低木林について

小笠原諸島固有の乾性低木林という植生では調査地②、調査地③、調査地⑤の現地調査で明らかになったようにほとんど台風による攪乱は起きていなかった。その要因としては、乾性低木林は文字通り低木でありさらに乾燥に対応するため厚く小さな葉をつけるため強風により倒木することや葉が飛ばされることが少なく、攪乱として NDVI 値では抽出されないと考えられる。

5. まとめ

本研究ではリモートセンシングを利用した NDVI 値の変化と現地調査による植生の調査によって台風の攪乱によって植物がどのような応答をしているのかを研究した。

本研究では攪乱の起きる植生としては大まかに3つに分けると以下のように区別できた。

①海岸植生のモモタマナやハスノハギリの植生、②草本が多く生息している植生、③常緑種が多くみられる植生。

①の海岸植生については調査地のほとんどの海岸で確認ができ、林床の植生にアカギやモクダチバナが確認できた。モモタマナについてはポイントベースで解析をして、台風攪乱直後は下層植生の成長を観測しているのではないかと考えられた。一方で海岸植生として多く見られるハスノハギリではポイントベースでの解析をしていないため、今後そのような解析をすることによりモモタマナとハスノハギリの攪乱に対する応答に違いが見えてくるかもしれない。また、調査地①についてはアカギが多く侵入していることが確認でき、今後、どのような樹種が優占していくのかは注目すべきである。

②の草本が多く生息している植生として、旭山の南向きの斜面をポイントベースで解析して、木本とは異なるデータが得られた。本研究では一か所のみの調査となったため、今後山頂付近や谷筋などの他の地点の草本についても解析が必要になってくる。

③の常緑樹については主に倒木や枝折れによる攪乱がほとんどで、山の中腹や南向きの斜面で多くみられていた。攪乱でできたギャップにはランタナやホナガソウといった植生が侵入しており、今後の植生の更新に不安が残った。

また本研究では NDVI 値についてポイントベースで解析するという手法を取り、赤色光の反射率と近赤外光の反射率の値についてまで解析をした。これにより、NDVI 値としてはわからなかったことでも内部の値についてみることで植物の状態や、植生の違いまで解析することができる可能性があることが示唆された。

一方で、ほとんどの地点で値のばらつきがみられているため季節的に小笠原諸島の植生が変化しているのか、人工衛星のデータの問題があったのかは確実なことが言えない状態である。本研究では Planet explorer を利用して人工衛星のデータを入手したが、サービスの仕様上複数の人工衛星のデータを一括で利用するため、撮影日によってはカメラの状態やデータの値にばらつきが生じていた可能性も考えられる。今後、高頻度高解像度で人工衛星データが入手することができるということは短いスパンで細かいデータの解析をすることに役立つが、データの選別については考えなければならない。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々にご指導、ご協力を頂き感謝申し上げます。

指導教官の飯島慈裕教授には、研究の基礎的なところから丁寧かつ熱心なご指導を賜り、大変お世話になりました。研究に関して知識不足な私に対して、様々な助言をしてくださり、研究の方向性を示していただきました。ありがとうございます。

また、現地調査に際して東京都立大学小笠原研究施設を利用させていただくことができ、大変お世話になりましたこと深く感謝申し上げます。

さらに、現地の小笠原自然文化研究所の皆様にも現地調査の助言や支援をしていただき大変感謝しております。

Planet 衛星画像の利用にあたっては、Planet Labs PBC が提供する Education and Research Program の制度を利用した。

皆様のおかげで無事修士論文を書き上げることができました。ありがとうございました。

参考文献

1. 清水善和 (1994) 小笠原諸島母島石門における湿性高木林の生態と更新様式—17 号台風 (1983) による攪乱とその後の回復過程. 地域学研究, 7, 3-32. [kci007-01-shimizu.pdf \(komazawa-u.ac.jp\)](#)
2. 水野一晴・山縣耕太郎 (1992) 小笠原諸島父島における自然草地・裸地の分布とその成立環境. 地学雑誌, 101, 298-306. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1390282679207343104>
3. 気象庁・過去の台風資料
<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/index.html>
4. 三好周斗, 松山洋 (2022) 渇水が植生に及ぼす影響に関する研究—小笠原諸島父島における衛星リモートセンシングを用いた解析—. 地学雑誌, 131, 265-380
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgeography/131/3/131_131.365/_article/-char/ja
5. Planet explorer (<https://www.planet.com/explorer/>)
6. 基盤地図情報ダウンロードサービス <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>
7. 日本域高解像度土地利用土地被覆図【2018～2020 年】(バージョン 21.11)
https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/lulc/lulc_v2111_j.htm
8. 環境省自然環境局生物多様性センター (<https://www.biodic.go.jp/>)
9. 気象庁・過去の台風資 (<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/index.html>)
10. 谷本丈夫, 九豊田武司(1996)樹冠下と異なった温度条件下におけるアカギ稚樹の生残と成長. 森林総研研報, 370, 1-19 ([森林総研研報 No370 谷本 1996.pdf](#))
11. 三好周斗, 松山洋 (2022) 渇水が植生に及ぼす影響に関する研究—小笠原諸島父島における衛星リモートセンシングを用いた解析—. 地学雑誌, 131, 265-380.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgeography/131/3/131_131.365/_article/-char/ja



図1 小笠原諸島の位置



図 2 父島全体の衛星写真



図3 父島と台風21号の進路の位置関係

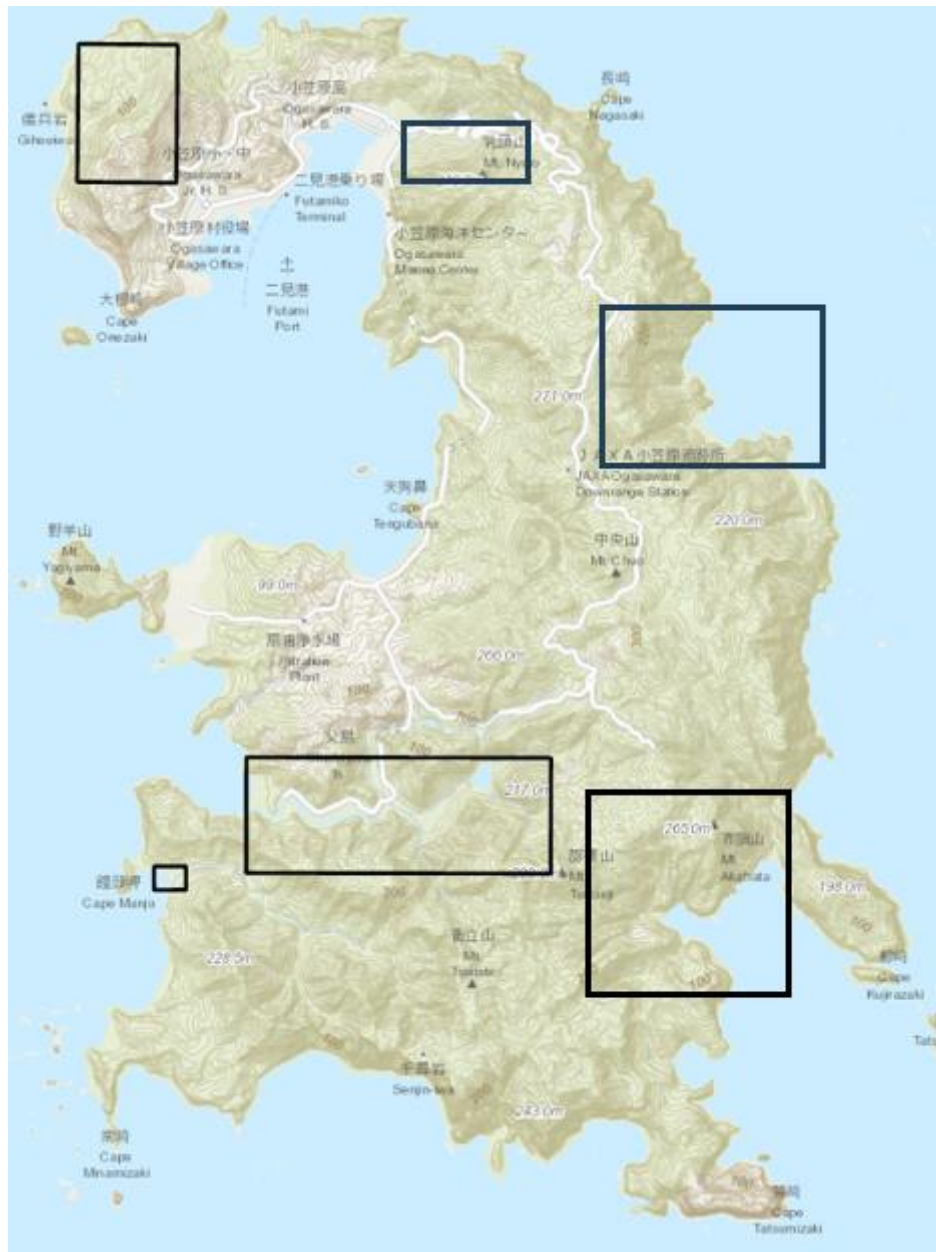


図4 抽出した6か所の攪乱域

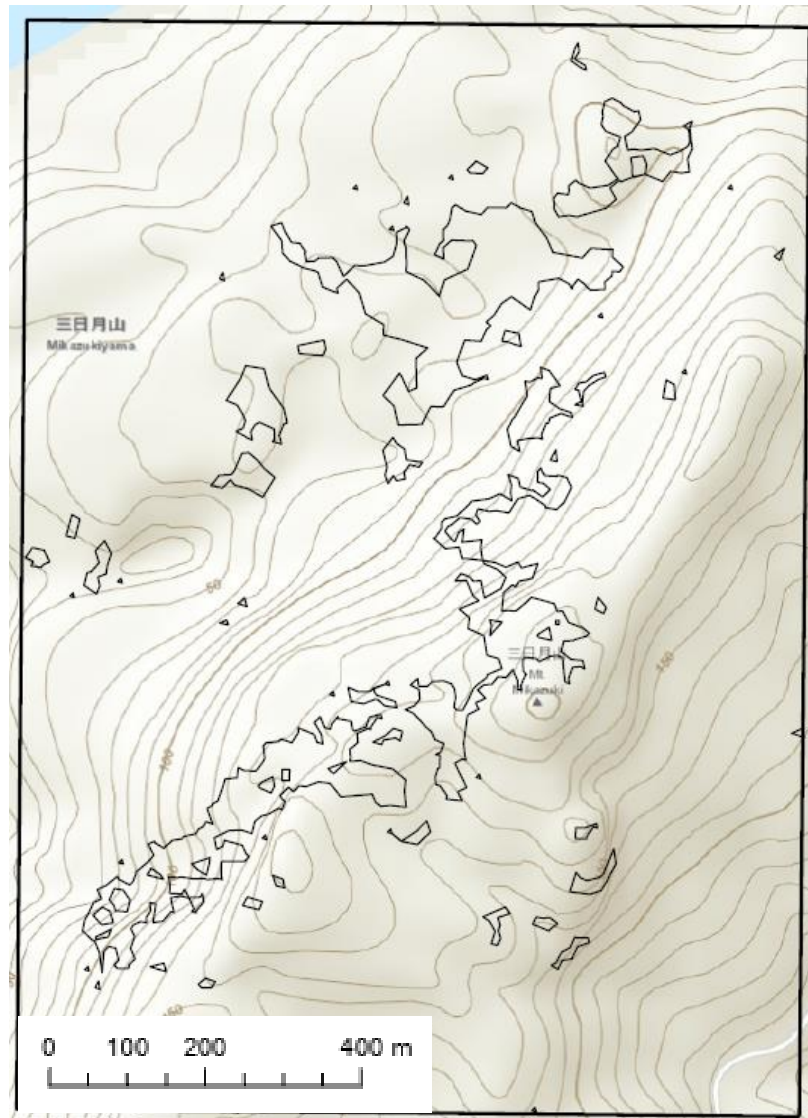


図5 調査地①とその攪乱域

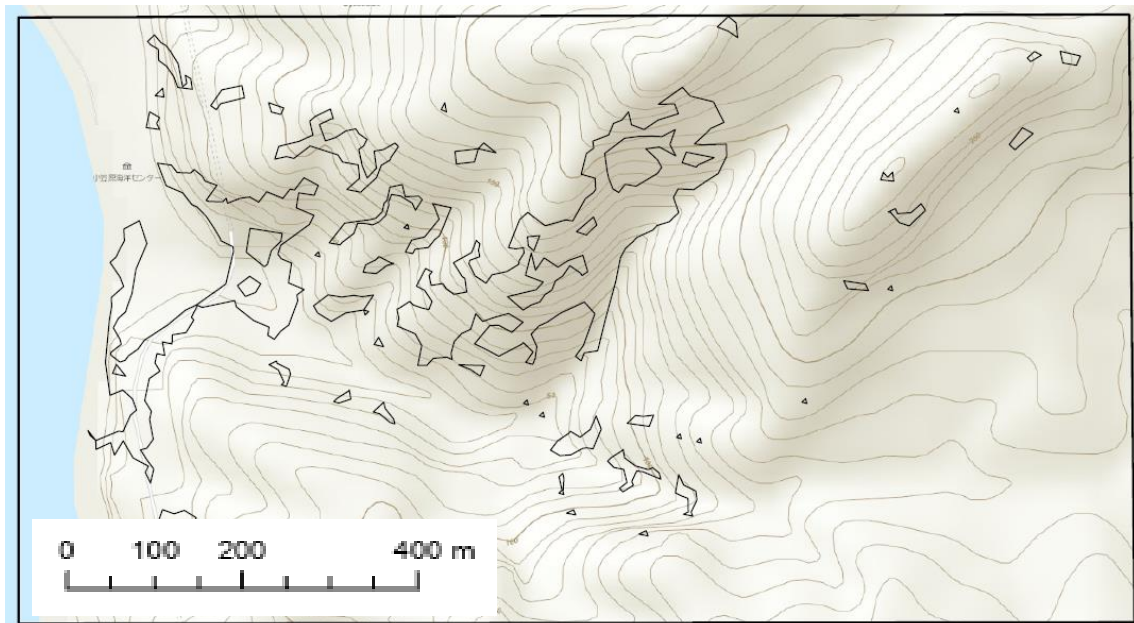


図6 調査地②の攪乱域

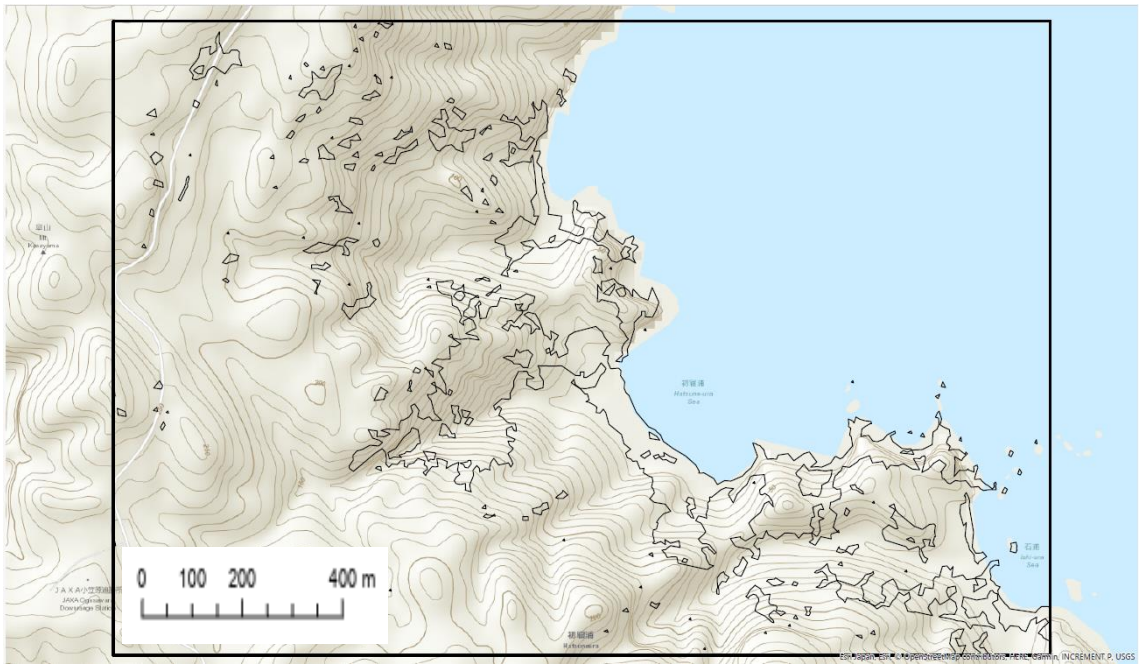


図7 調査地③とその攪乱域

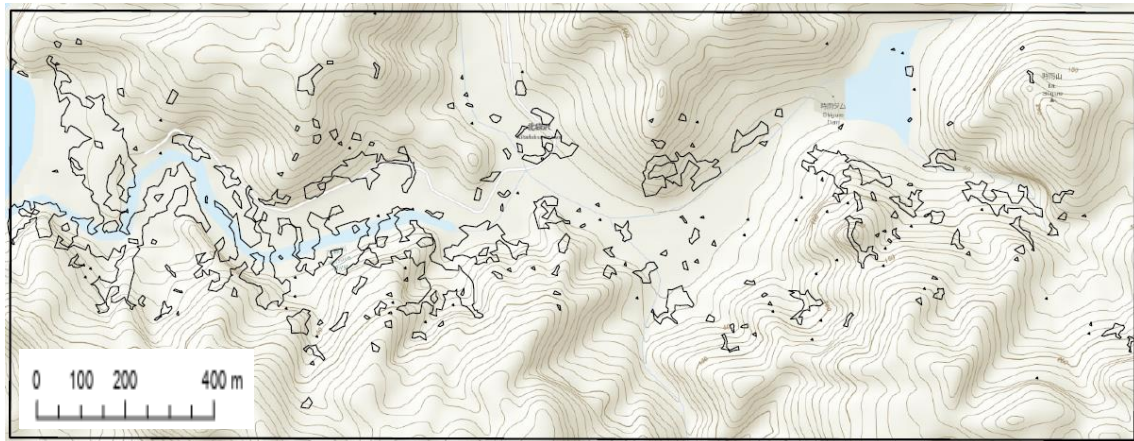


図8 調査地④とその攪乱域

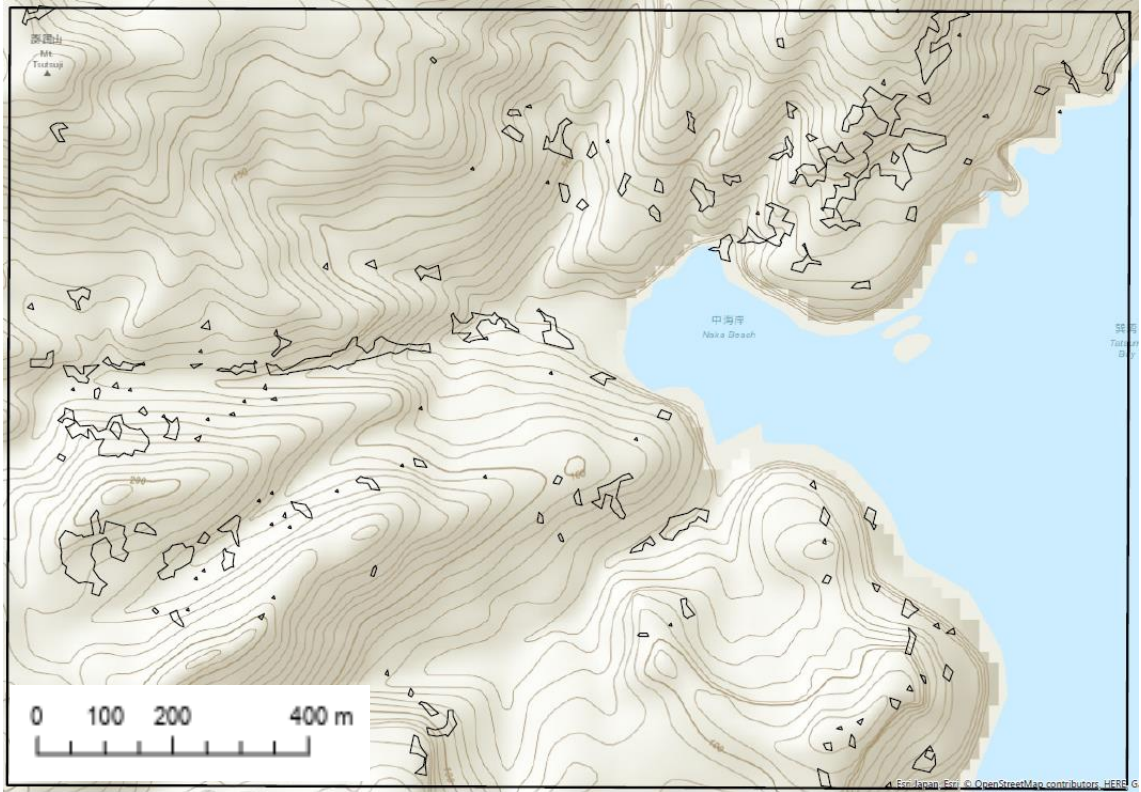


図9 調査地⑤とその攪乱域

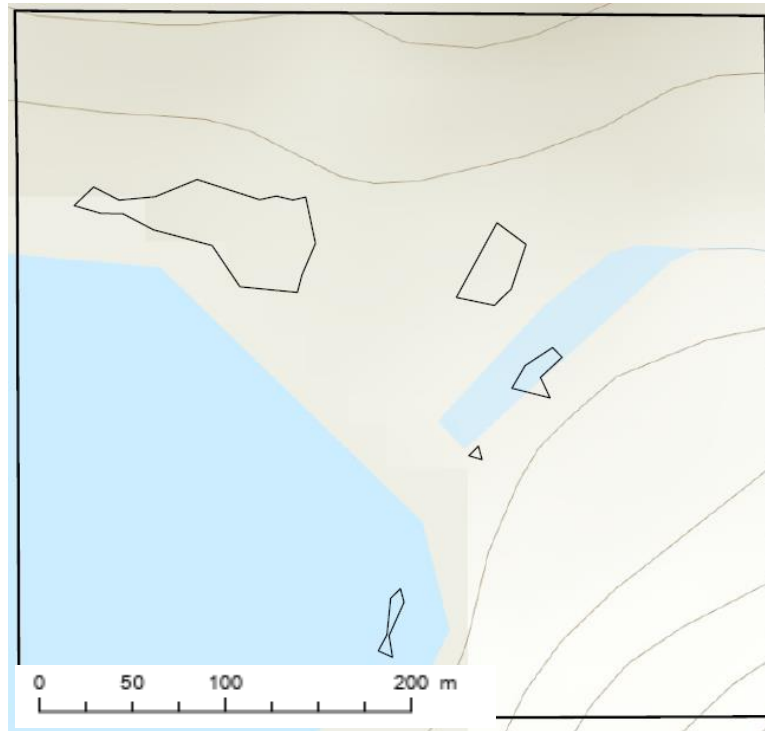


図 10 調査地⑥とその攪乱域

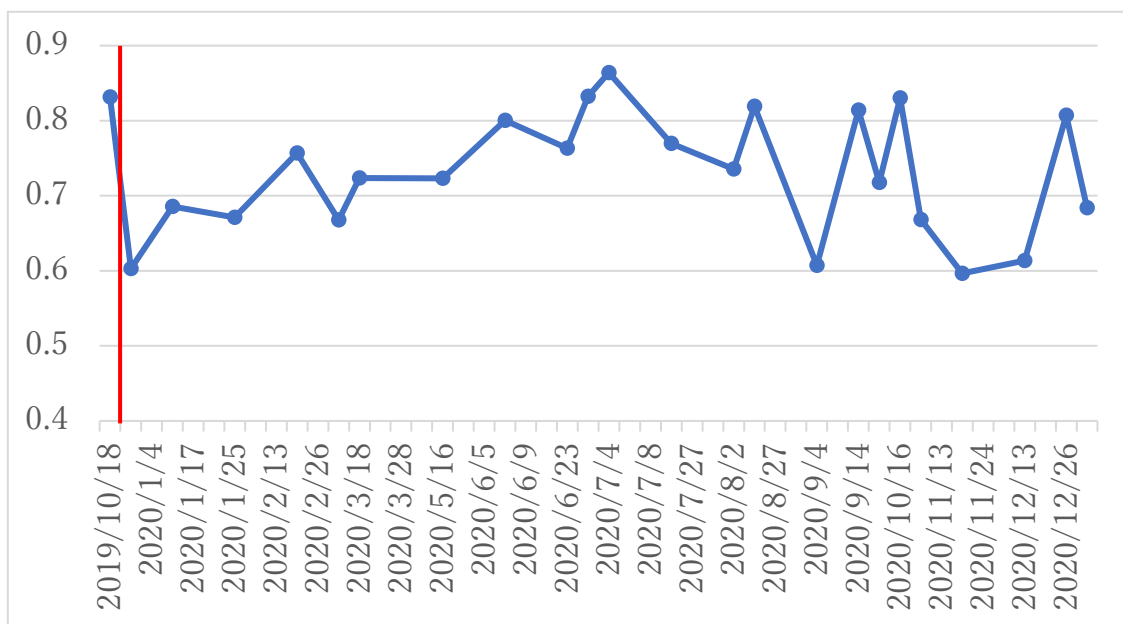


図 11 調査地①の攪乱域内での NDVI の平均値の変動（赤線は台風の通過タイミング）

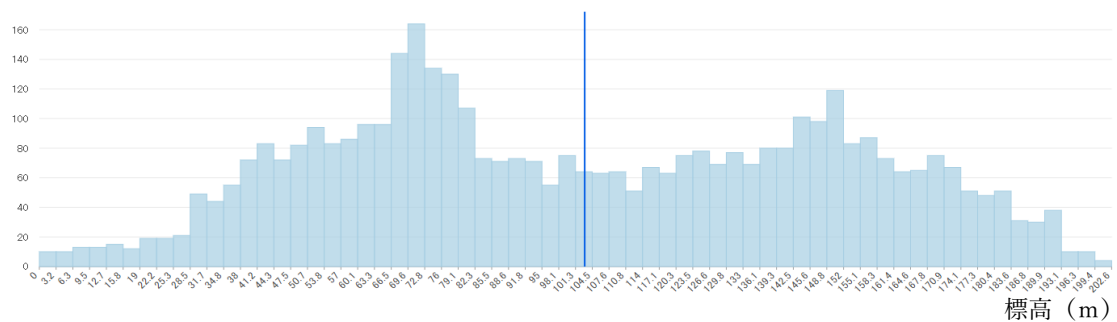


図 12 調査地①全体での標高データ

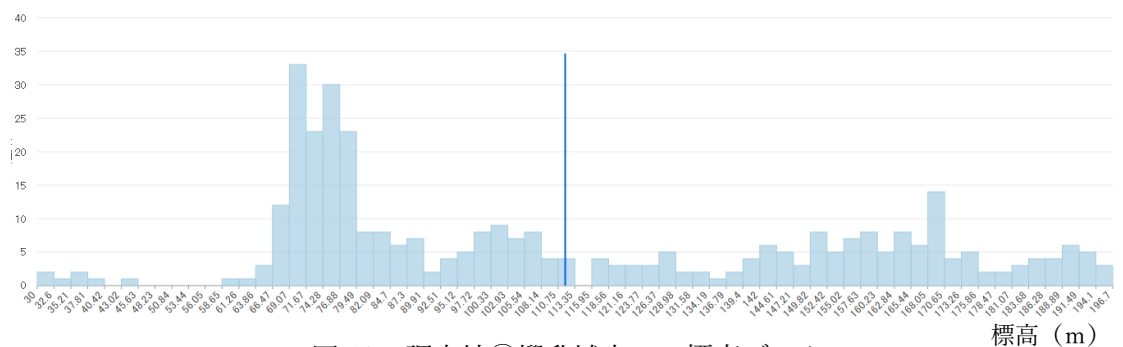


図 13 調査地①攪乱域内での標高データ

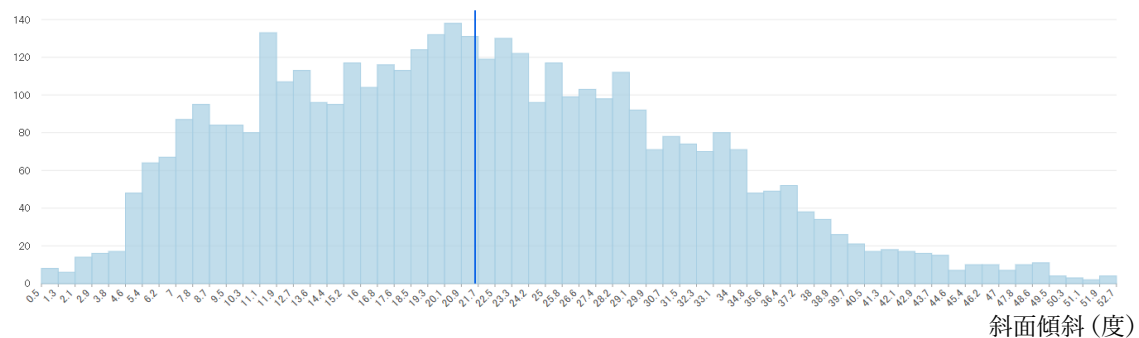


図 14 調査地①全体での斜面傾斜

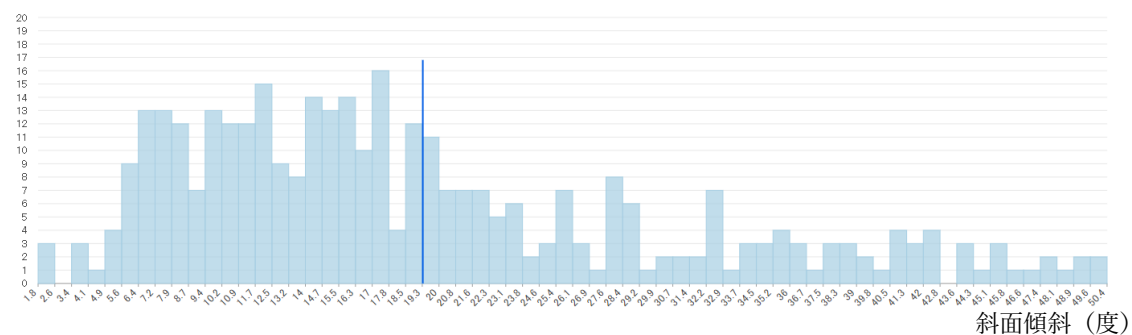


図 15 調査地①攪乱域での斜面傾斜

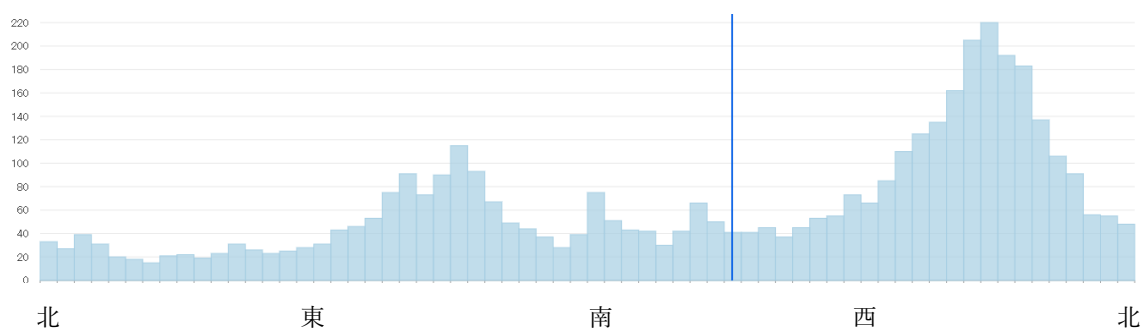


図 16 調査地①全体での斜面方位

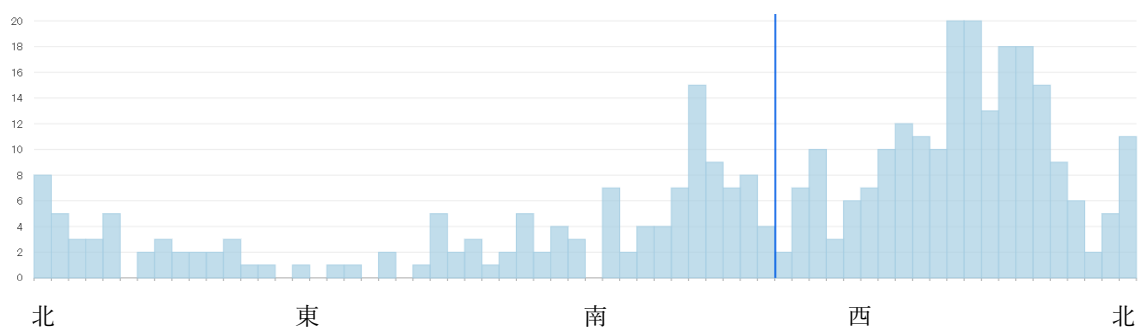


図 17 調査地①攪乱域内の斜面方位

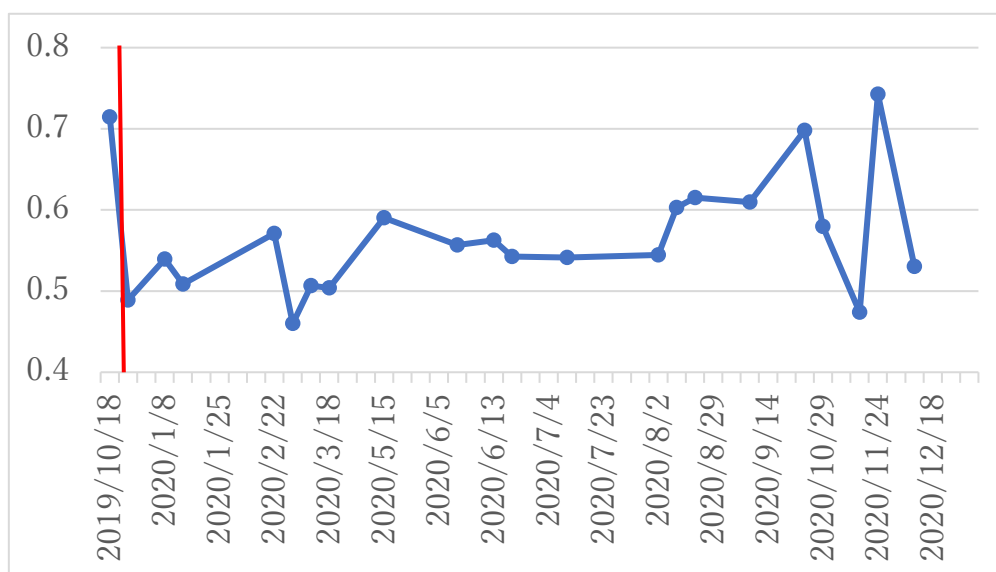


図 18 調査地②の攪乱域内での NDVI の平均値の変動（赤線は台風の通過タイミング）

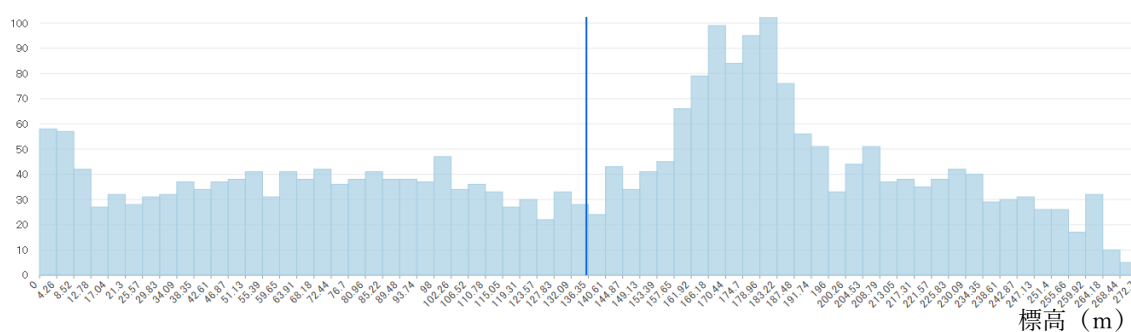


図 19 調査地②全体での標高データ

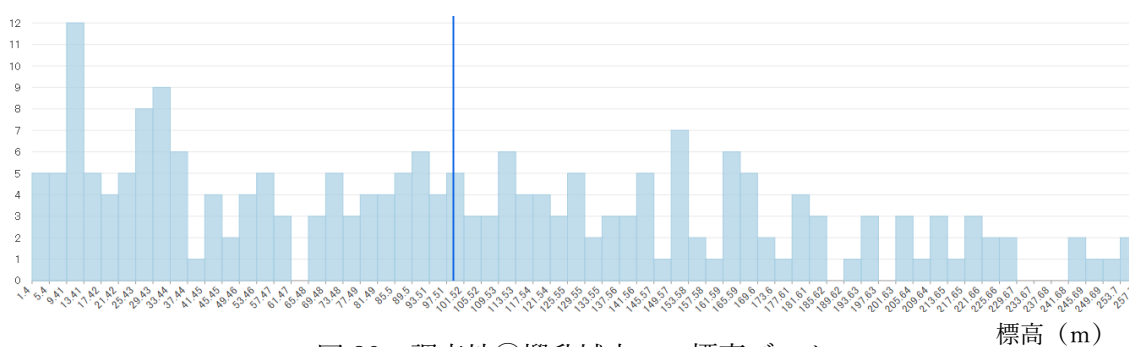
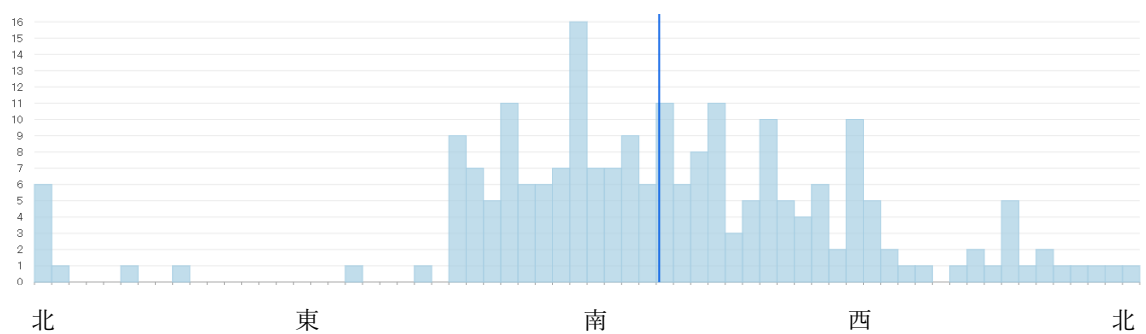
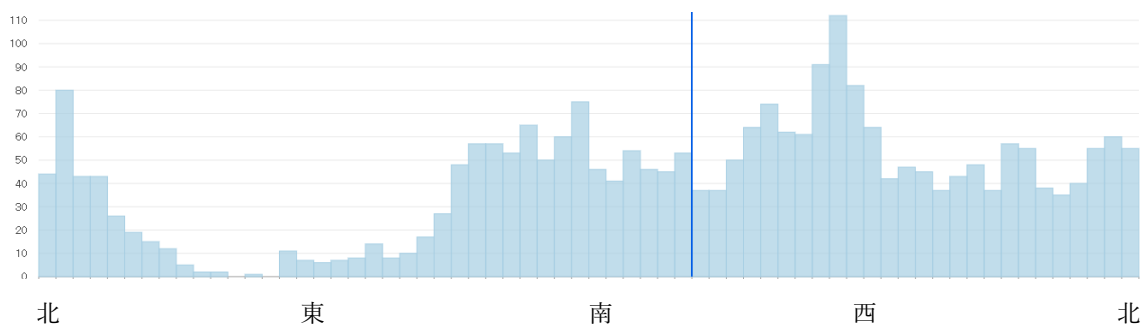
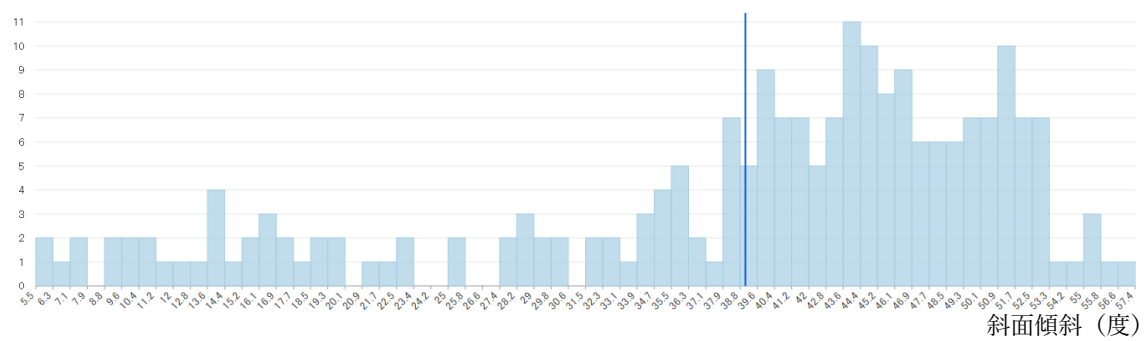
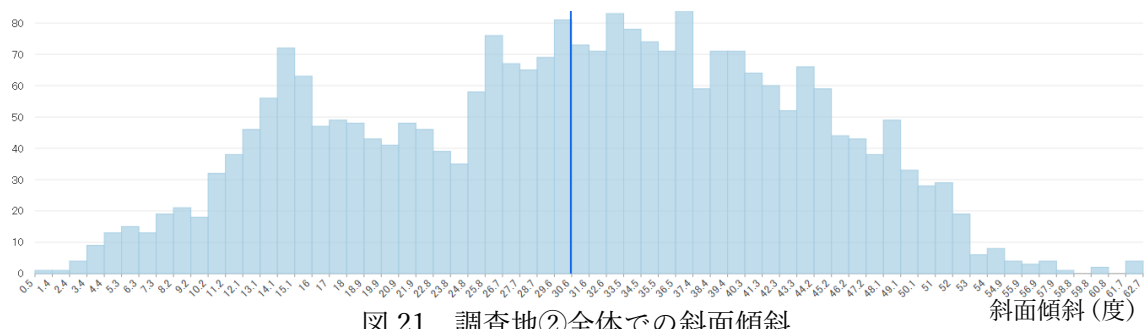


図 20 調査地②攪乱域内での標高データ



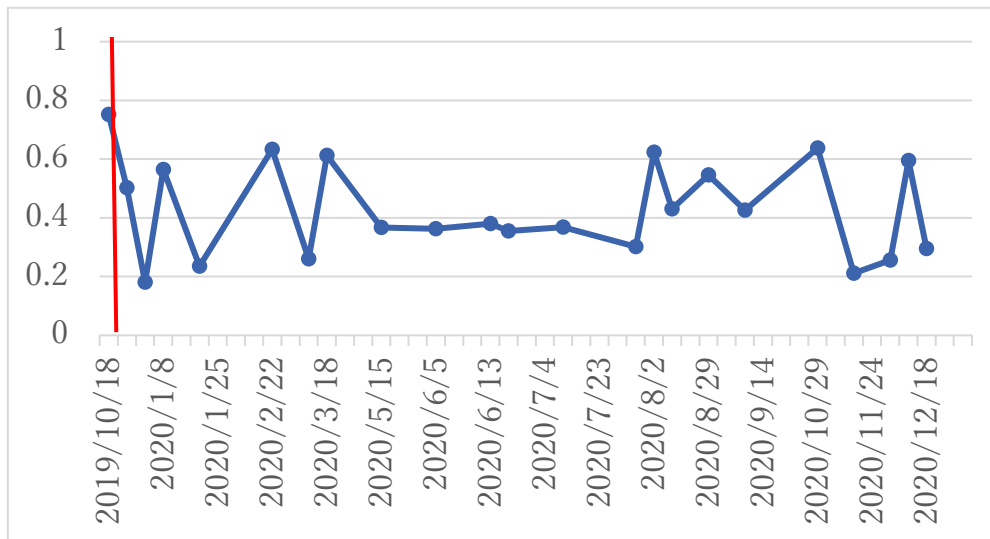


図 25 調査地③の攪乱域内での NDVI の平均値の変動（赤線は台風の通過タイミング）

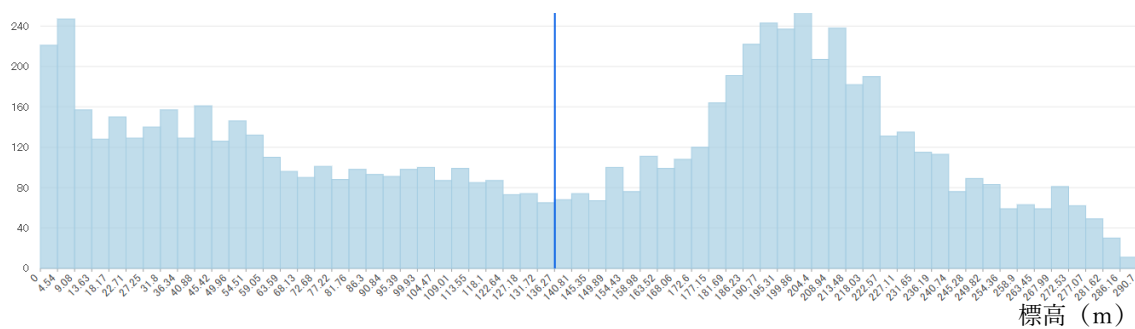


図 26 調査地③全体での標高データ

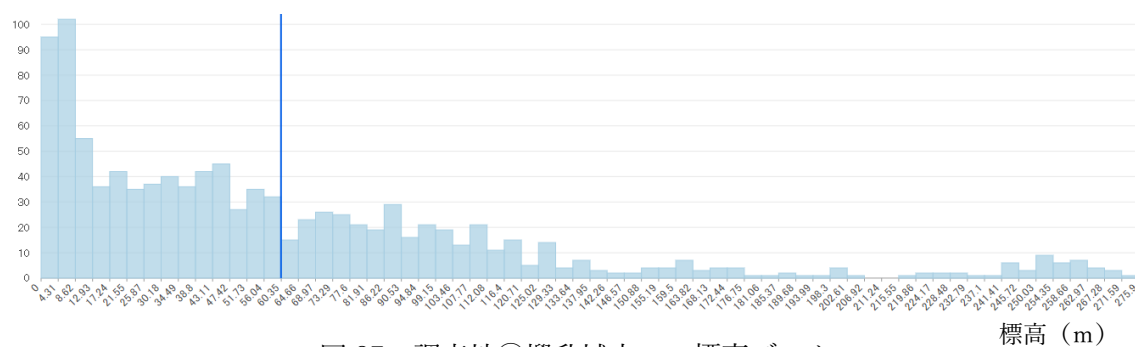
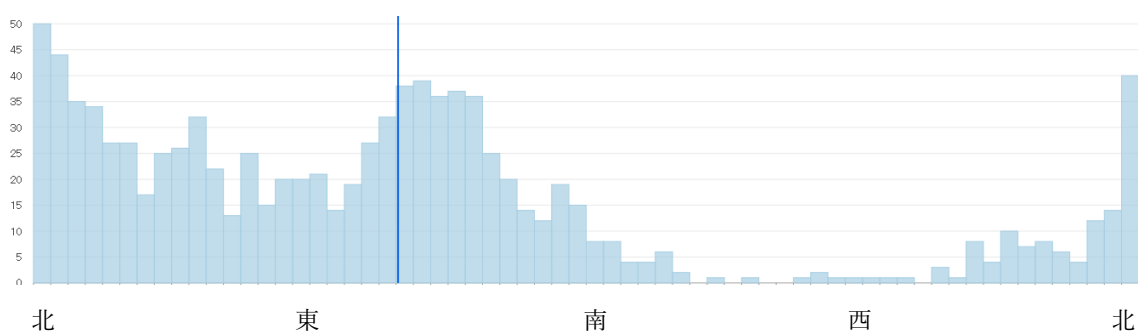
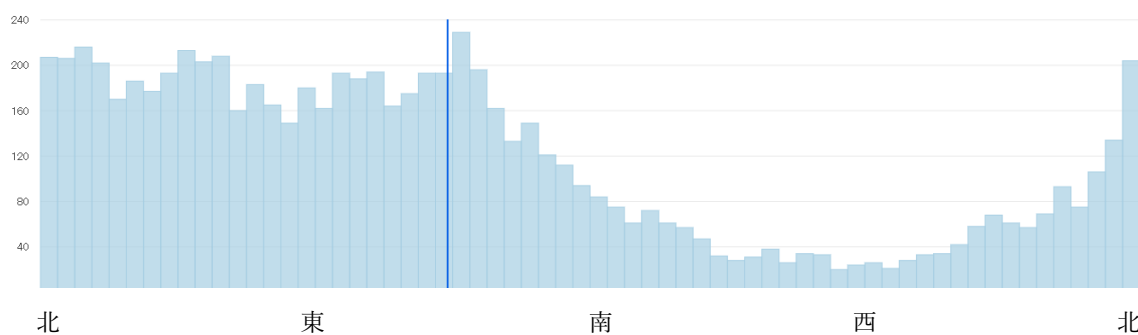
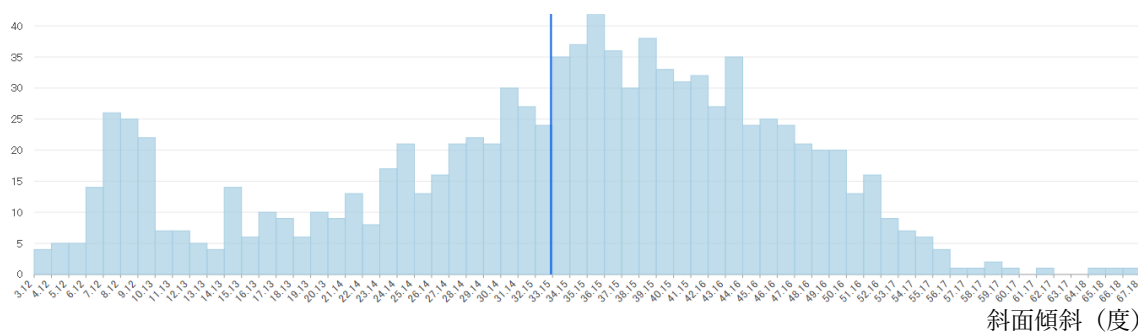
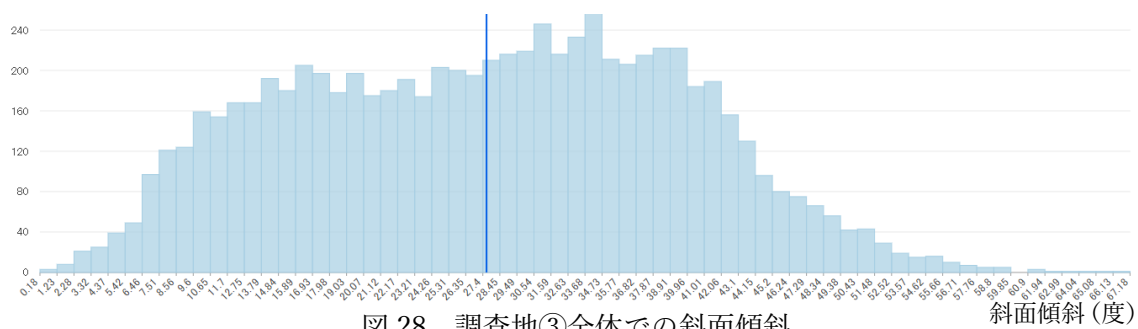


図 27 調査地③攪乱域内での標高データ



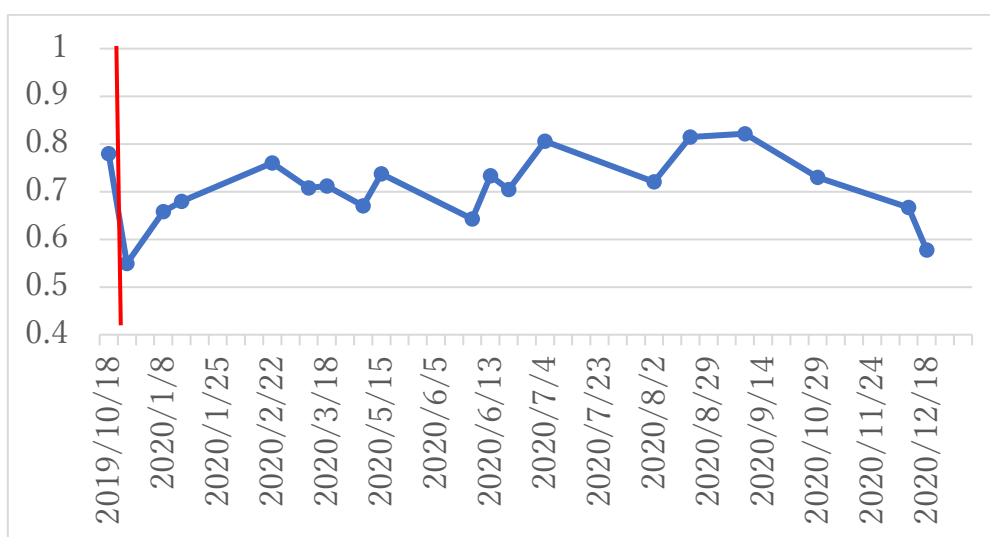


図 32 調査地④の攪乱域内での NDVI の平均値の変動（赤線は台風の通過タイミング）

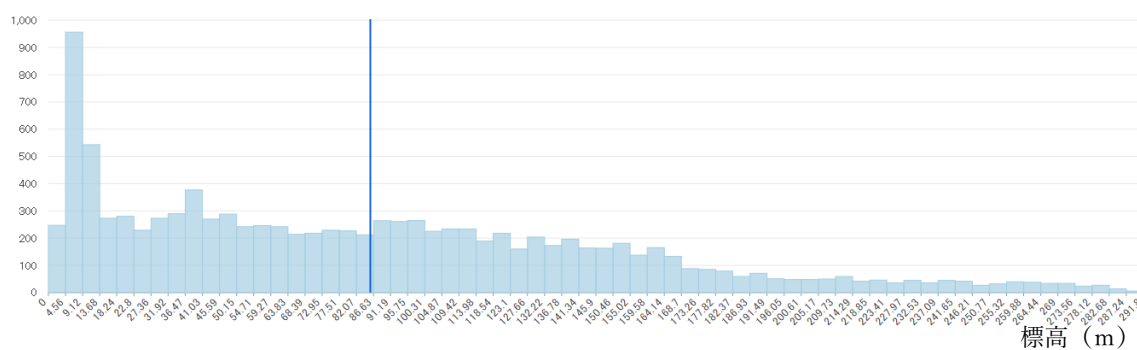


図 33 調査地④全体での標高データ

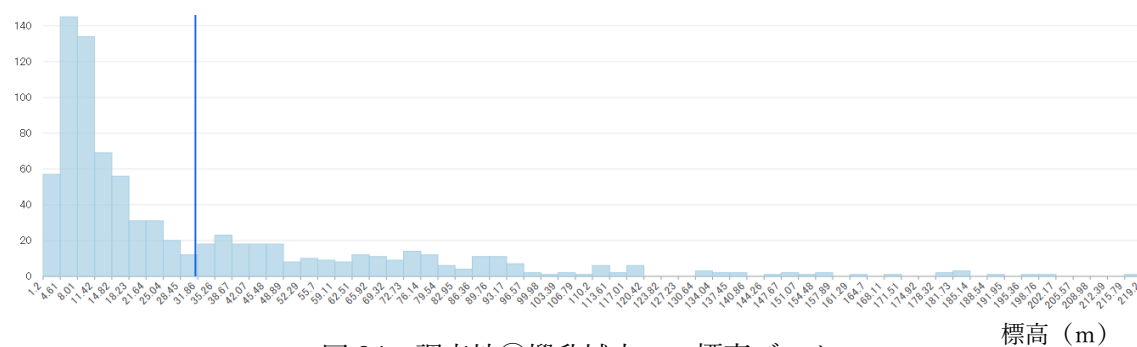


図 34 調査地④攪乱域内での標高データ

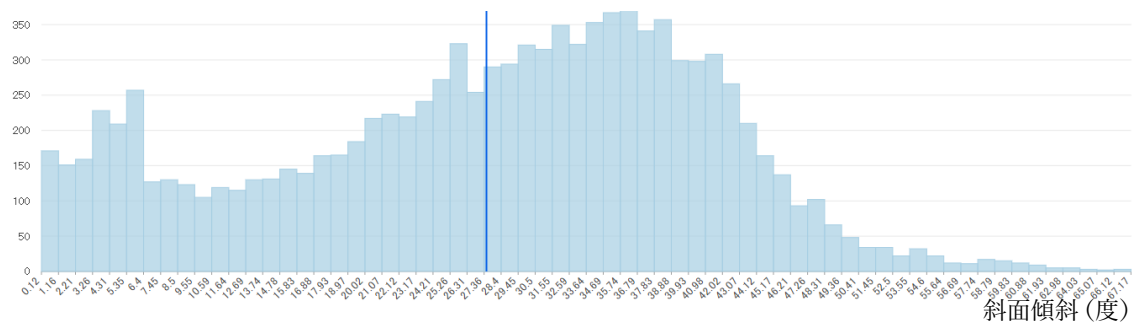


図 35 調査地④全体での斜面傾斜

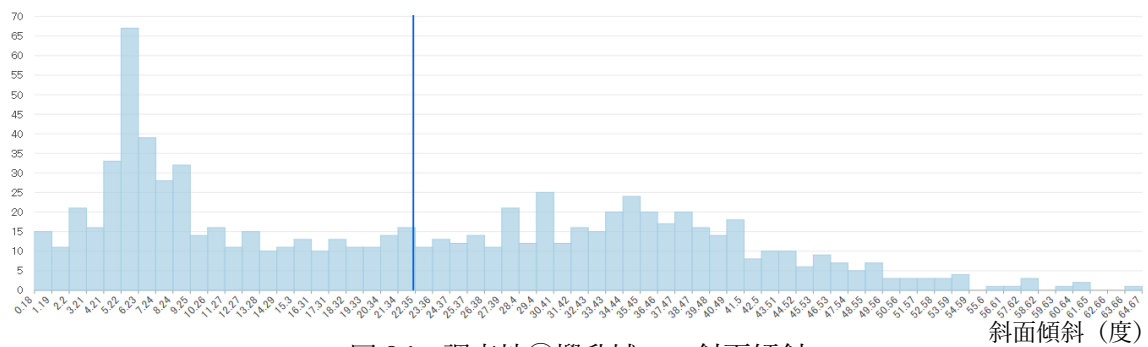


図 36 調査地④攪乱域での斜面傾斜

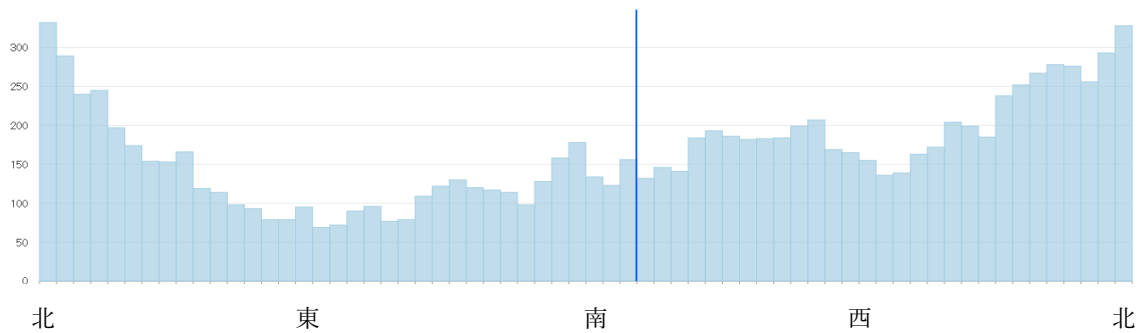


図 37 調査地④全体での斜面方位

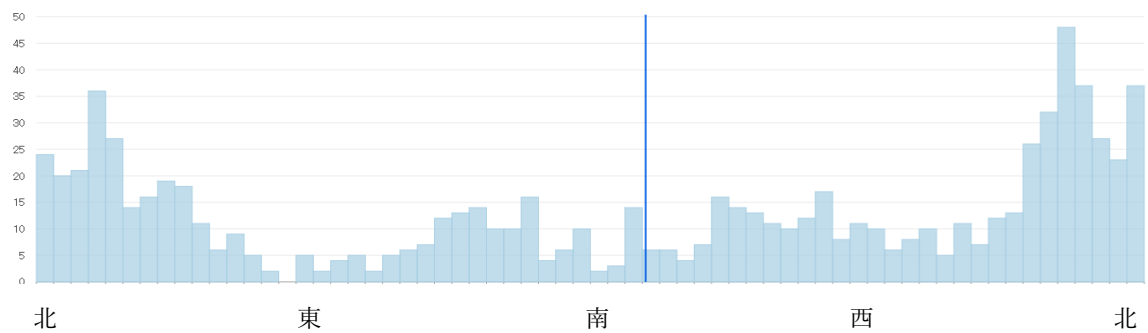


図 38 調査地④攪乱域内の斜面方位

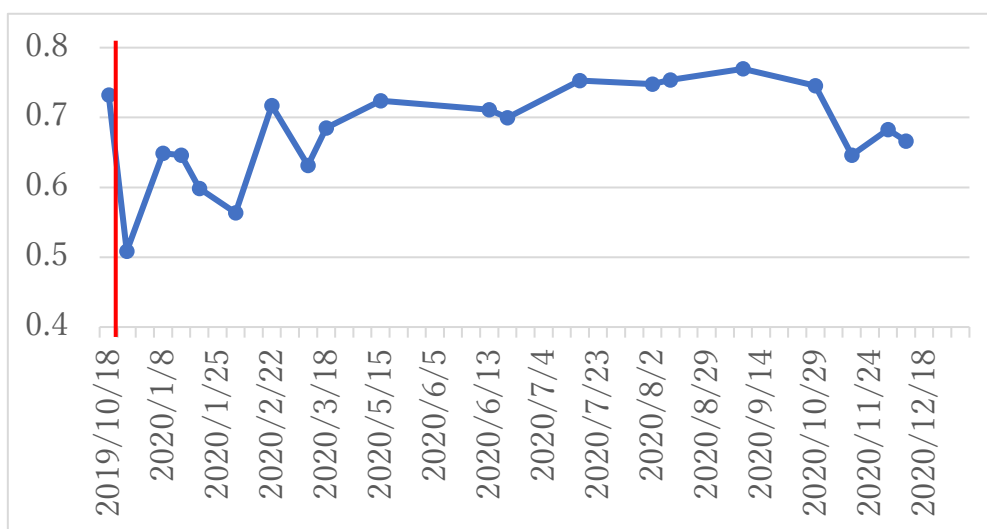


図 39 調査地⑤の攪乱域内での NDVI の平均値の変動（赤線は台風の通過タイミング）

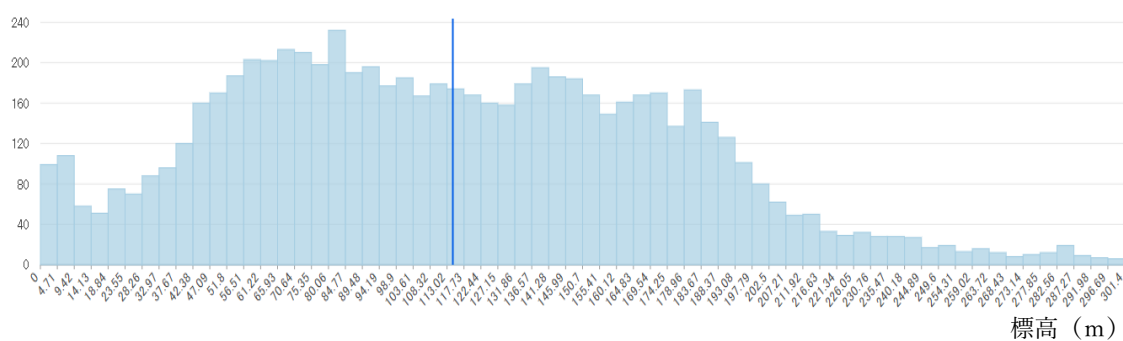


図 40 調査地⑤全体での標高データ

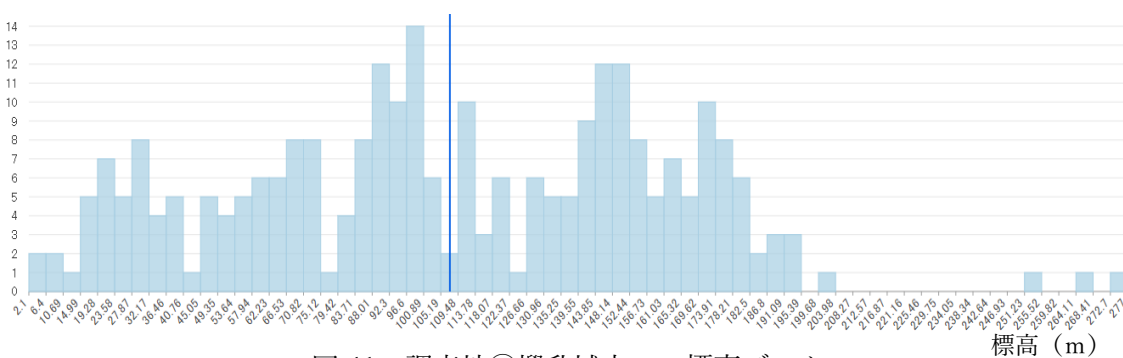


図 41 調査地⑤攪乱域内での標高データ

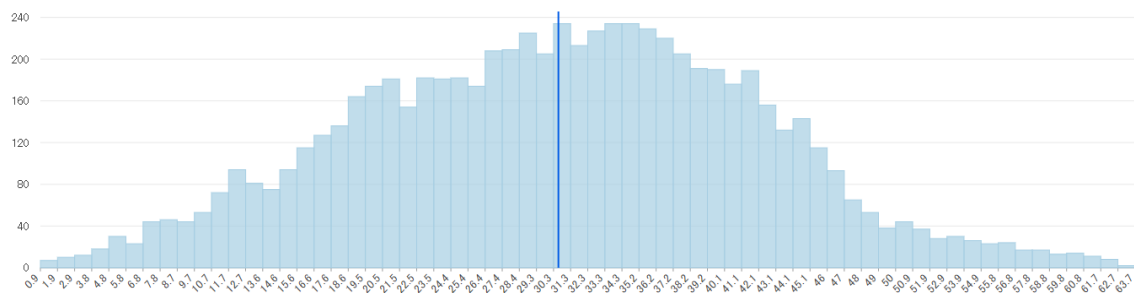


図 42 調査地⑤全体での斜面傾斜 斜面傾斜 (度)

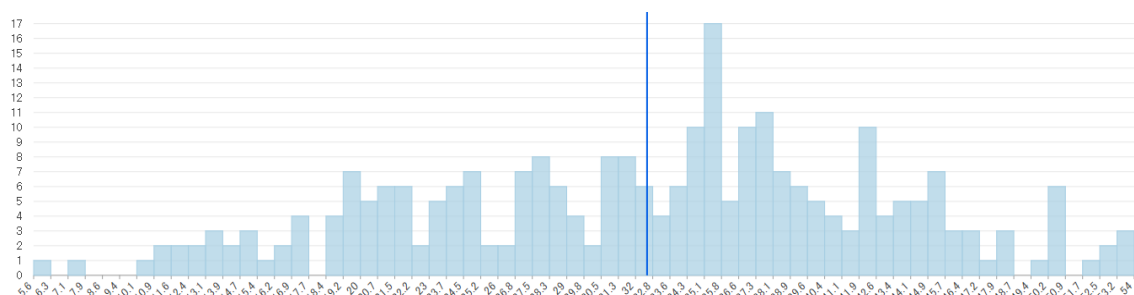


図 43 調査地⑤攪乱域での斜面傾斜 斜面傾斜 (度)

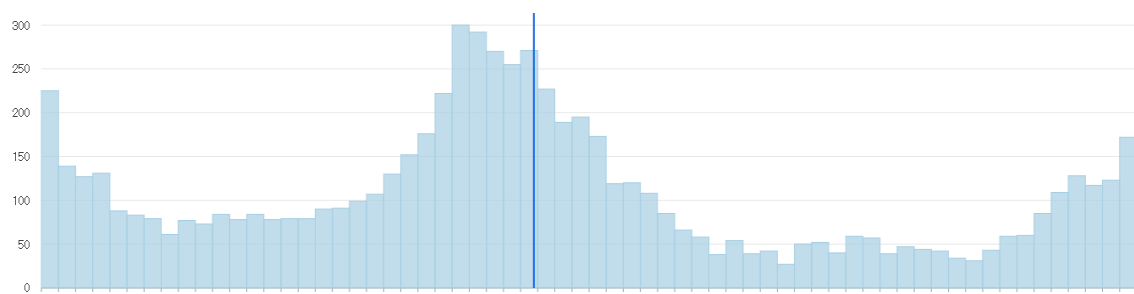


図 44 調査地⑤全体での斜面方位

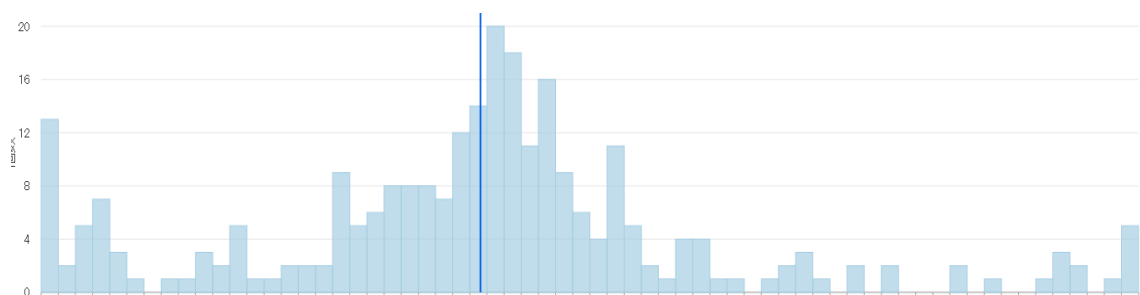


図 45 調査地⑤攪乱域内の斜面方位

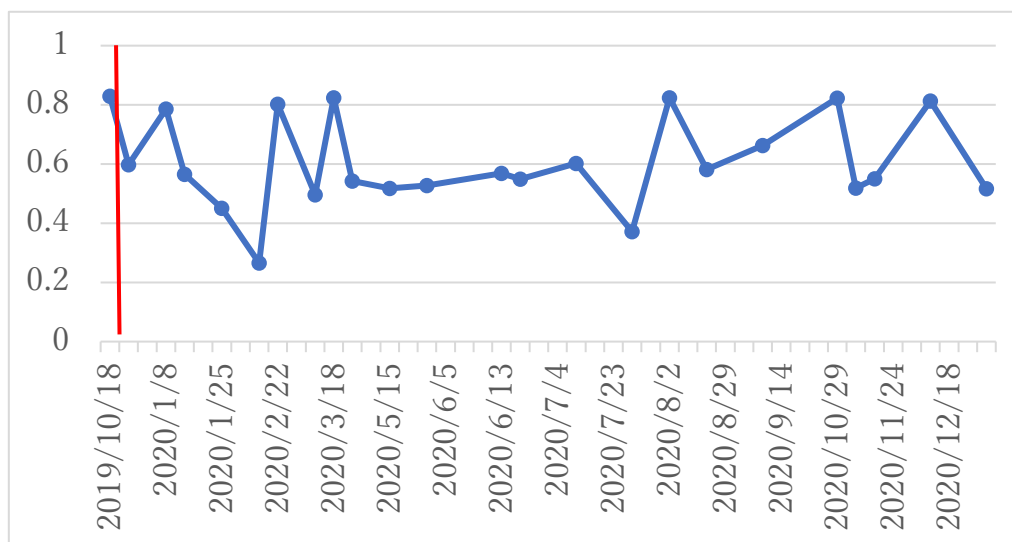


図 46 調査地⑥の攪乱域内での NDVI の平均値の変動（赤線は台風の通過タイミング）

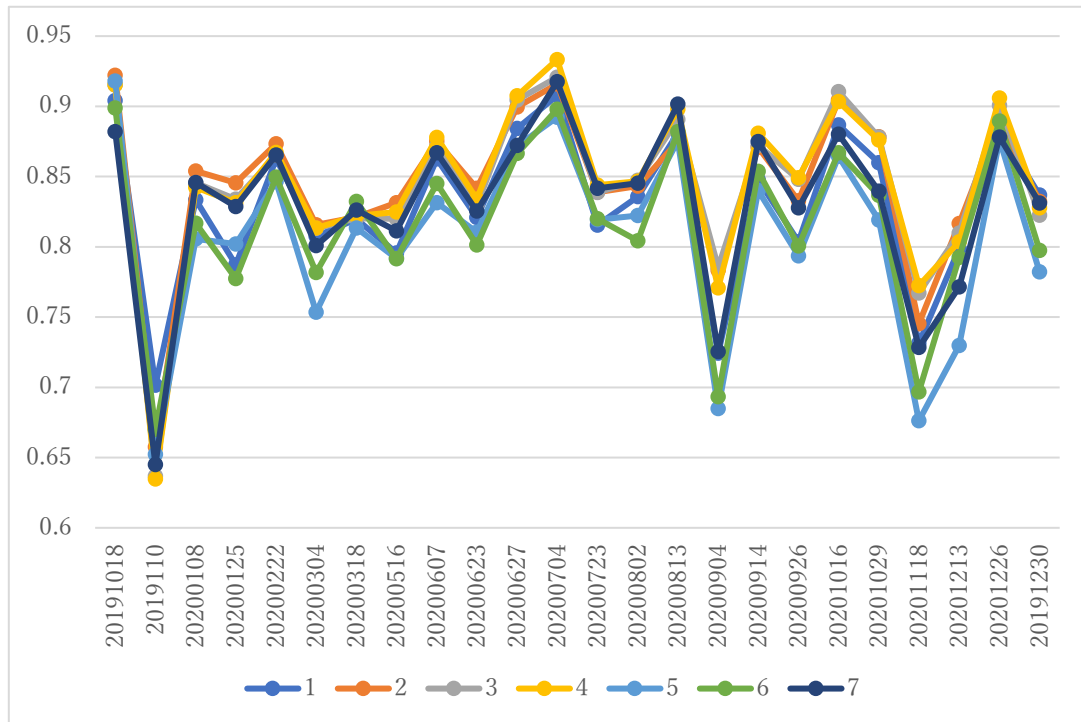


図 47 調査地①においてモモタマナが生息していたポイントでの NDVI 値の変動

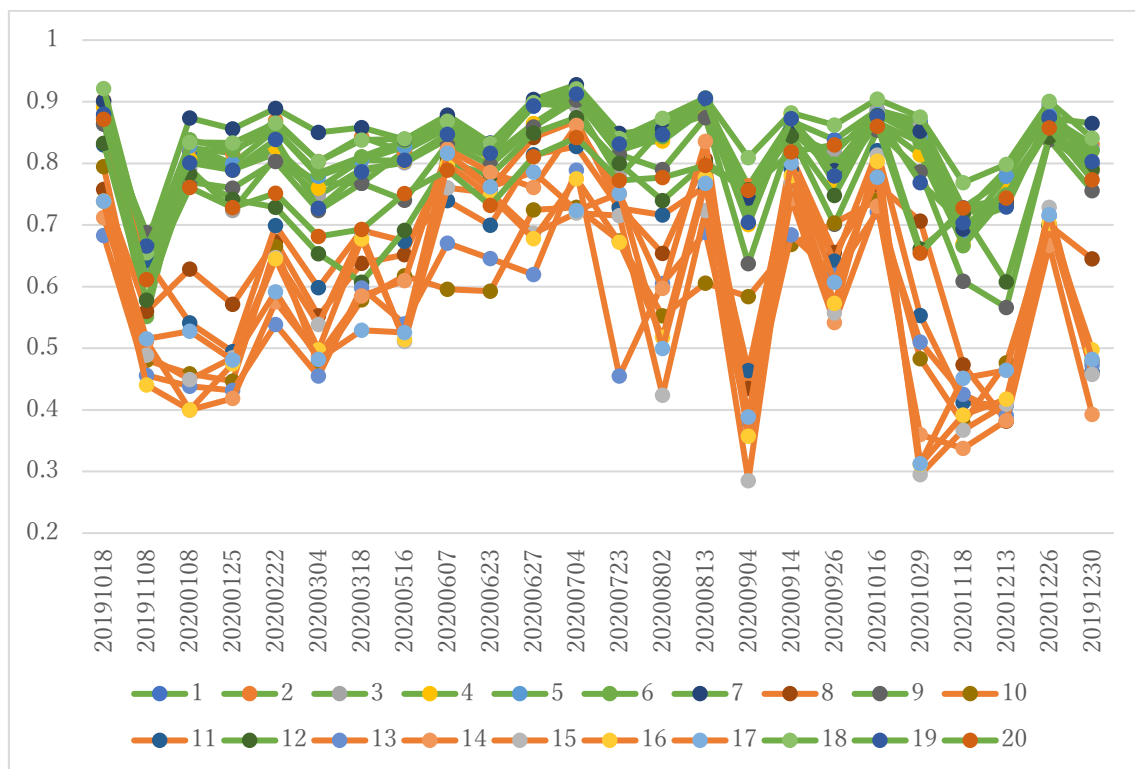


図 48 調査地①においてランダムに 20 か所のポイントを作成して NDVI 値の変動を抽出した図.

大まかに 2 パターンの変動が見られたので 2 色であらわしている.

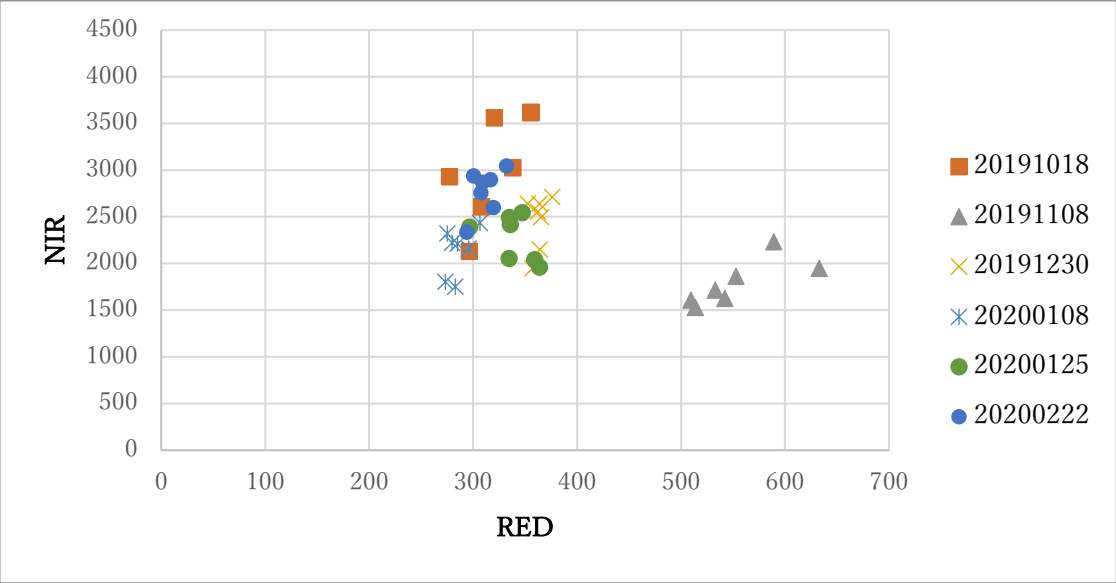


图 49

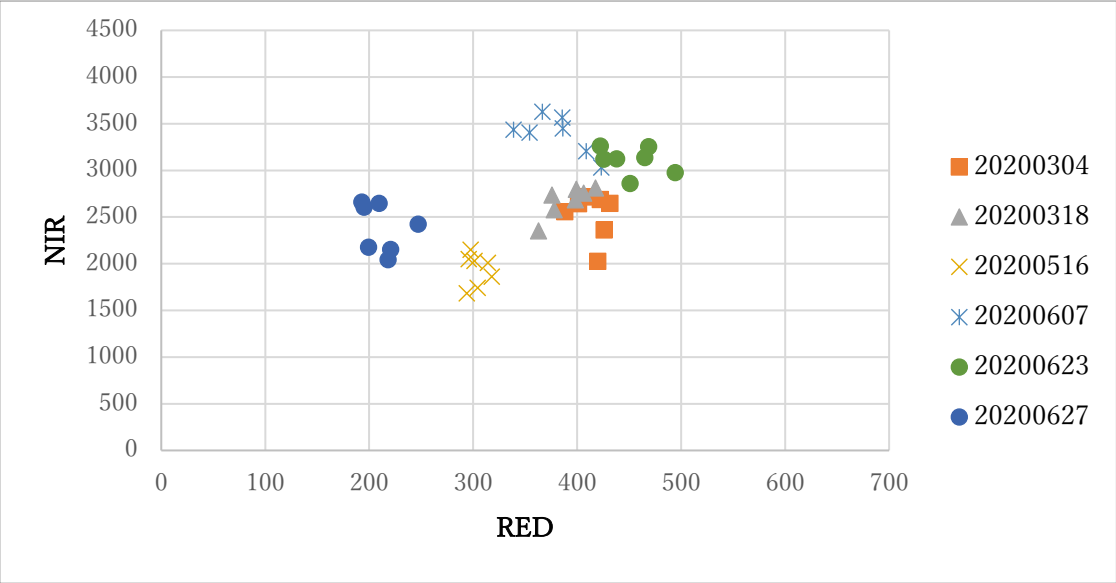


图 50

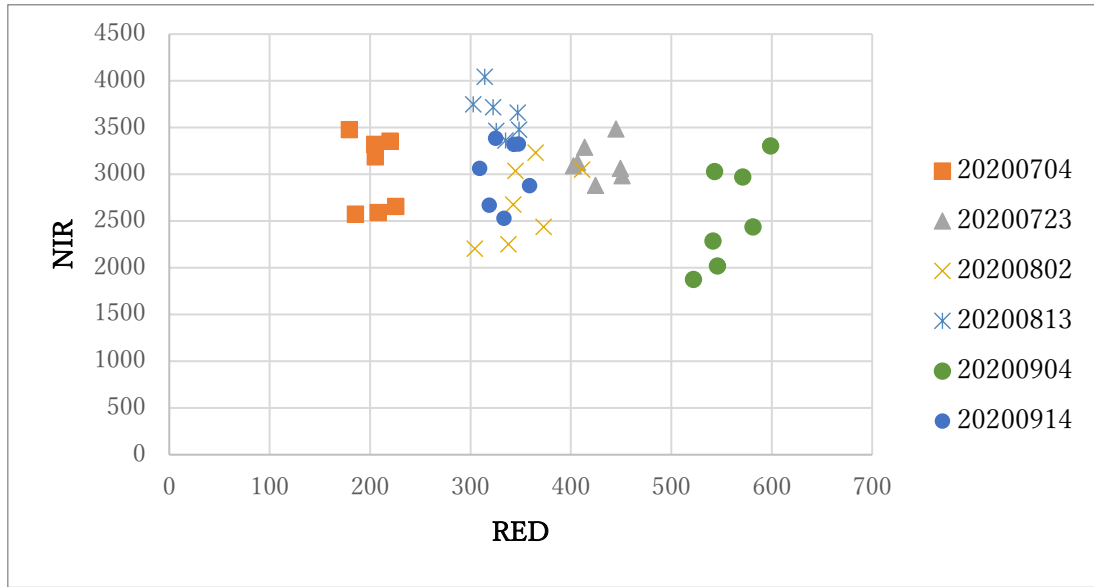


図 51

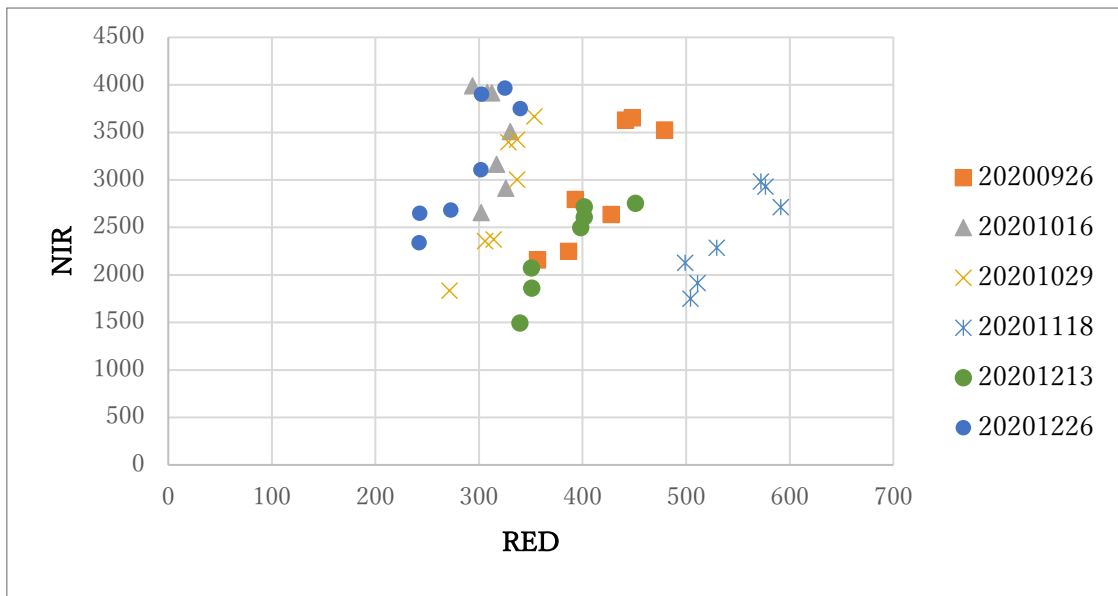


図 52

図 49～52 図 47 のデータにおける人工衛星の実測値の変動

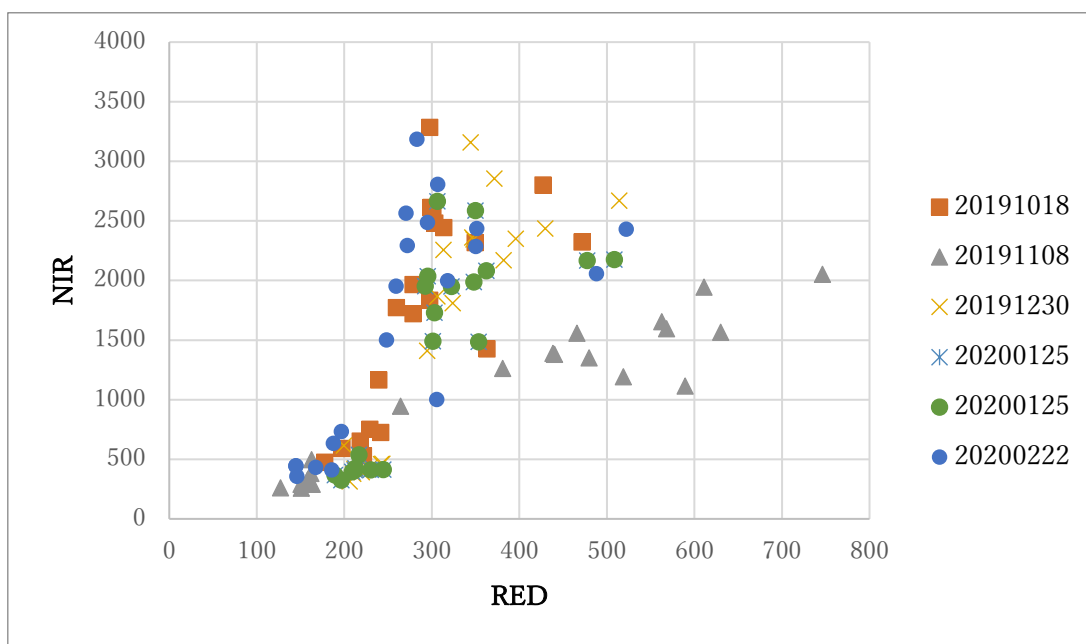


图 53

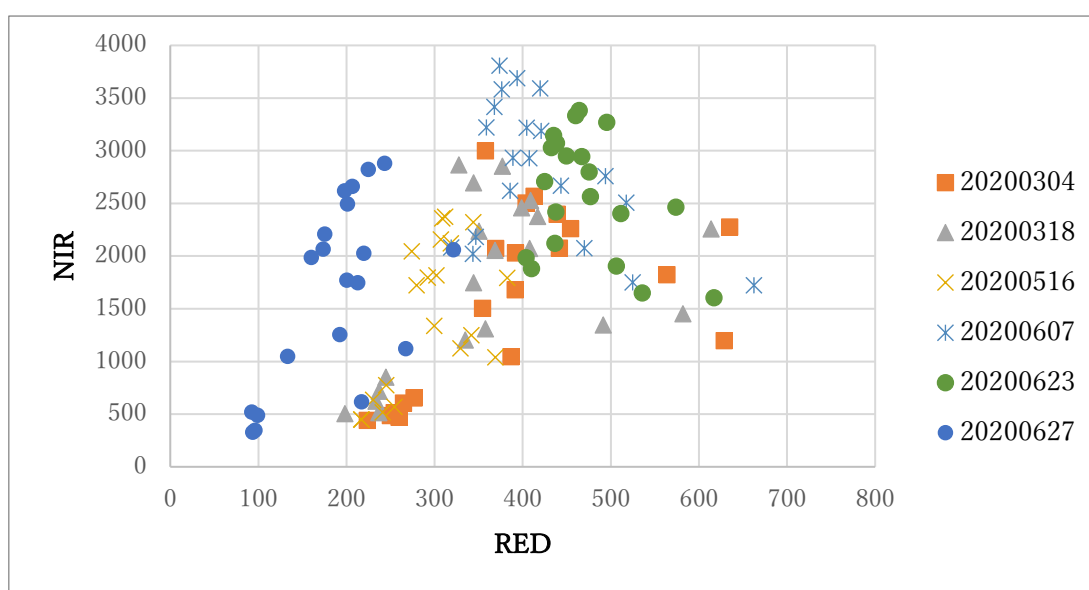


图 54

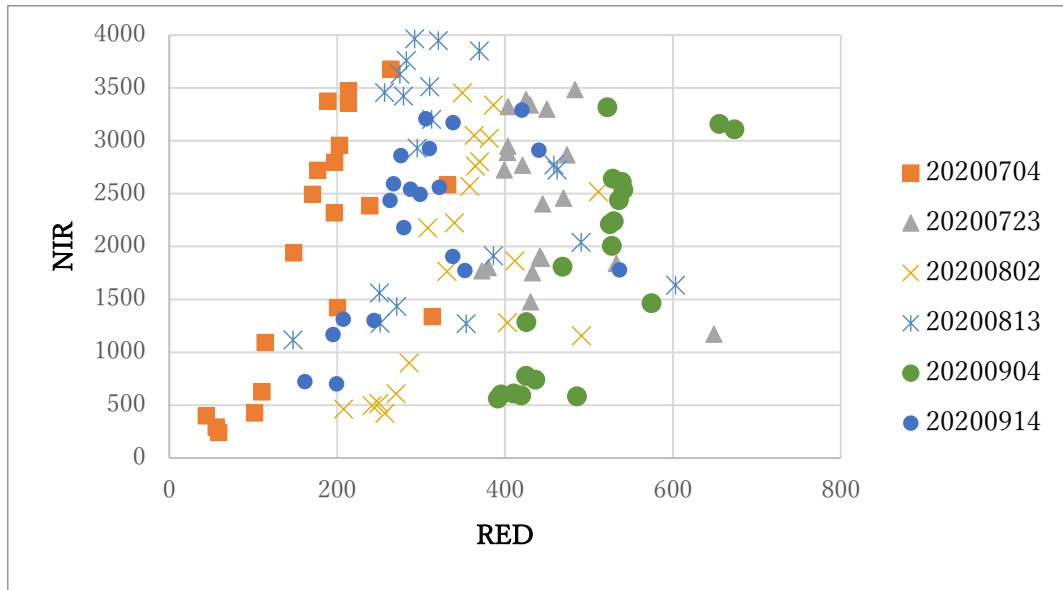


図 55

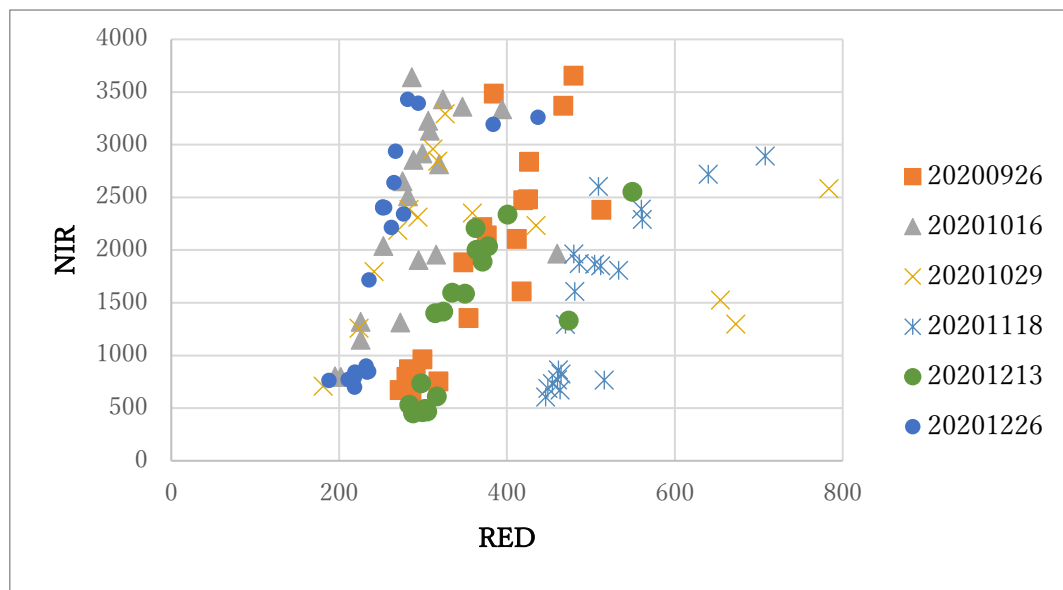


図 56

図 53～56 図 48 のデータにおける人工衛星の実測値

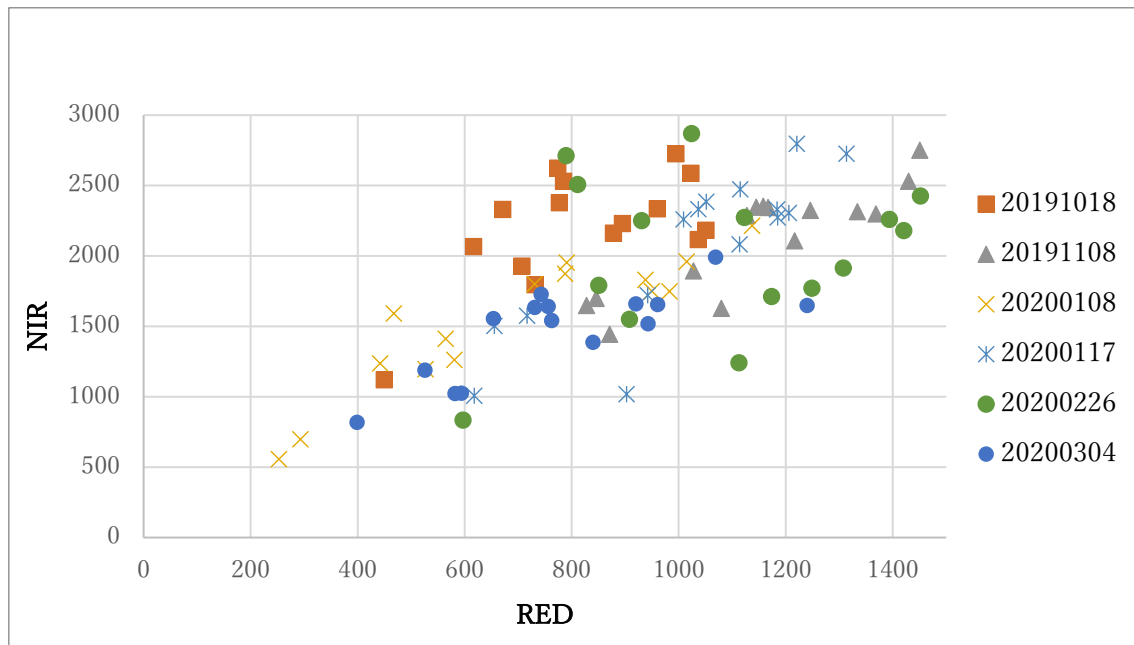


図 57 調査地②においてランダムに抽出したポイントでの NDVI 値の実測値
(台風前後とその後 4 データのみ図示)

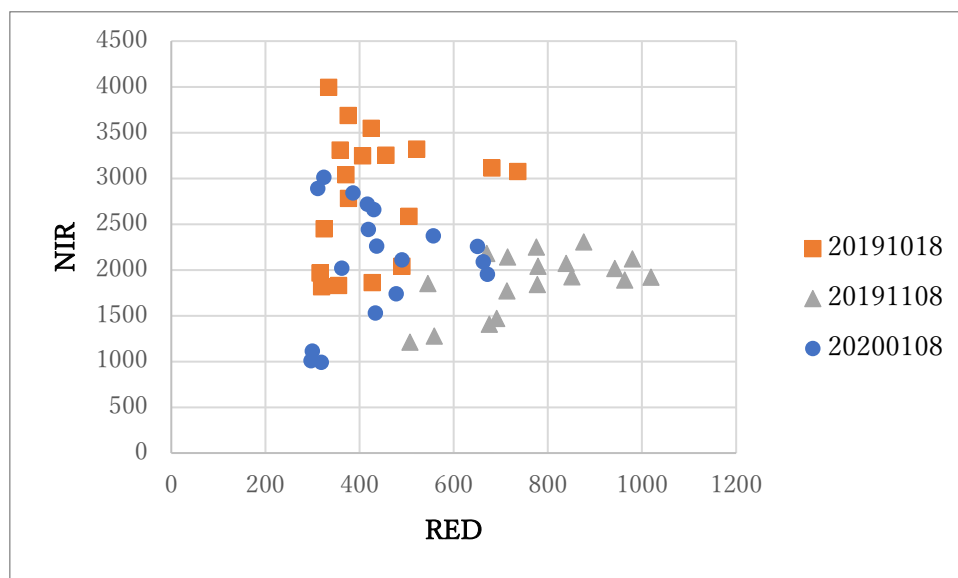


図 58 道路の上の植生について抽出した実測値