

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 2024 年度研究発表会論文集

日時: 2025 年 3 月 3 日(月) 13:45 – 15:00 (オンライン開催)

13:45 – 14:00	海面高度計、高分解能海面水温データを用いた海表面高度の長期変動特性解析 ○澤田千太郎、田中隆一、鈴木誠二、森山雅雄 (長崎大学), 山田凱登(りんかい日産建設会社)	1
14:00 – 14:15	しいたけの栽培条件把握のための樹冠-林床温度の関連性把握 ○渡邊彰人、森山雅雄 (長崎大学)	3
14:15 – 14:30	基準蒸発量計算のための全球的日射量検証 ○坂上翔太、森山雅雄 (長崎大学)	5
14:30 – 14:45	温州みかんの光学的樹勢把握手法の開発 ○藤田伊織、森山雅雄 (長崎大学)	7
14:45 – 15:00	光学的手法による稲作管理手法の開発 ○井手颯太郎、森山雅雄 (長崎大学)	9

海面高度計、高分解能海面水温データを用いた海表面高度の長期変動特性解析

長崎大学 ○澤田千太朗、田中隆一、鈴木誠二、森山雅雄
りんかい日産建設会社 山田凱登

1. 背景と目的

既往研究で潮位の長期変動特性が明らかになり、全球的に4分類に分けることができた。しかしその変動特性の原因は未だ不明である。そこで、本研究では、潮位の変動特性に影響を及ぼすと考えられる海表面高度と海面水温の長期変動特性について考察を行った。既に宮内らがMIROC6を用いて全球的なシミュレーションを行っている¹⁾。それを踏まえ、本研究では、長時間収集されている衛星データを用いて、全球的な海表面高度及び海面水温の長期変動特性に関する高分解能解析を行う。

2. データの概要

海表面高度について用いた衛星データは、TOPEX/POSEIDON(1992.8-2022.8)、JASON1(2002.1-2009.1)、JASON2(2008.7-2016.10)、JASON3(2016.2-2022.4)の海表面高度データを用いた²⁾。一方、海面水温は、衛星データとブイ、船舶データから作られるNOAA/HRSST(1982.1-2022.4, 0.25度分解能)の海面水温データを用いた。

3. 海表面高度と海面水温の算出方法

海表面高度は衛星から発射したマイクロ波レーダーパルスが海面で反射して衛星に戻るまでの往復時間から、衛星と海面との距離を測定する。なお、全球の計測周期は9.9156日である。衛星で取得した海表面高度データの空間補完を行い、空間分解能0.25度の高分解能な海表面高度を算出した。なお、海表面高度は1992年から2022年までの約1100周期分の結果を算出した。算出した海表面高度の精度を検証するために、全期間の海表面高度とジオイドとの比較を行った。図1に全期間の平均海表面高度の算出結果を示す。

算出した平均海表面高度は、既知のジオイドと一致しており、高精度に海表面高度を算出できていると言える。一方、海面水温は、海面からの熱放射を放射計で計測、推定したものと、ブイ、船舶などでの現地観測値を組み合わせた切れ目のない日平均値を算出した。海面水温も海表面高度と同様に0.25度の高分解能で空間補完を行うとともに、1か月間の平均海面温度を算出した。図2に2007年12月の海面水温アノマリを示す。日本太平洋沖では、黒潮の影響、南アメリカ西部の太平洋海域ではラニーニャ現象が見られ、年ごとに水温構造が空間的に大きく異なることが分かる。

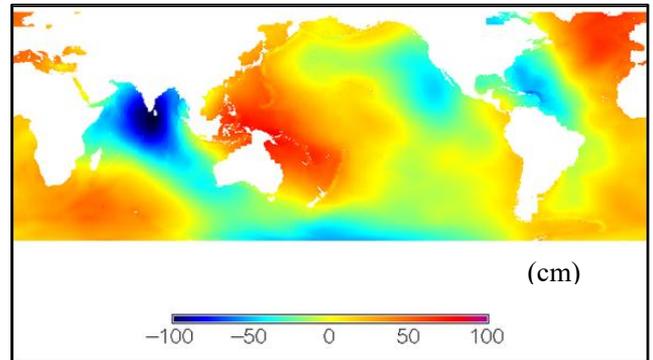


図1 平均海表面高度 (30年, 分解能0.25度)

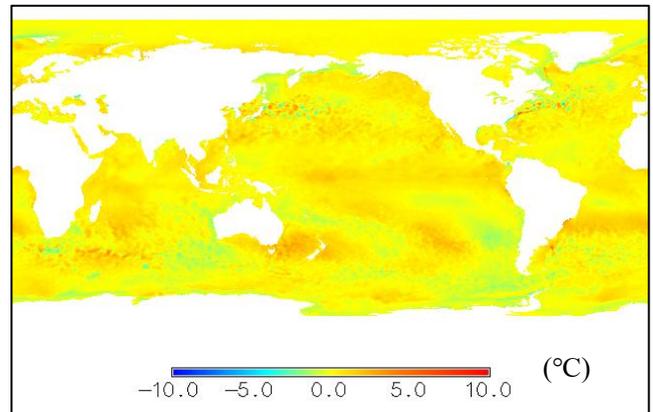


図2 2007年12月の海面水温アノマリ

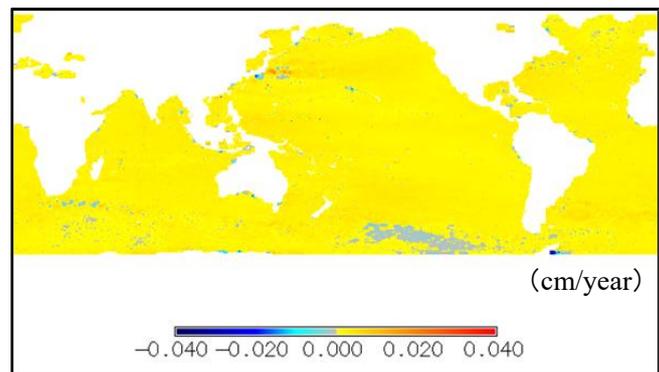


図3 海表面高度の変化率

4. 海表面高度の変動特性

図 3 に 1992 年から 2022 年間の海表面高度の変化率(cm/year)を示す。日本周辺海域では、関東の東の海域で上昇傾向、東海道沖で減少傾向であることが分かった。図 4 に海表面高度の標準偏差を表す。これは、各メッシュにおける 30 年間の標準偏差を算出したものである。日本太平洋沖、オセアニア諸島周辺、アフリカ南部喜望峰沖、アルゼンチン沖および北アメリカ付近の大西洋で標準偏差が局所的に大きい傾向にある。宮内らは、地球シミュレータを使用して $1 \times 0.5 \sim 1$ 度の空間分解能で海表面高度の変動幅を算出している。その結果と比較すると、日本太平洋沖、アフリカ南部喜望峰沖、アルゼンチン沖および北アメリカ付近の大西洋で同様に偏差が大きい。これは、海流および南極還流の蛇行による影響であると推察される。一方で、オセアニア諸島周辺などでは、全く異なった結果となった。図 5 に海底地形を示す。オセアニア諸島周辺海域やハワイ諸島周辺海域等の海底地形が急変している海域と図-4 で示した海表面高度の標準偏差が大きい海域が精度よく一致することがわかる。つまり、海表面高度の変動特性に海底地形の急変が大きく影響していることが明らかとなった。これは、空間的に高分解能で実測値を用いた解析を行うことで、局所的な現象を把握できた好例と言える。地形の急変海域で標準偏差が大きくなる原因として海底地形の勾配方向と海流の流向の関係性により海表面高度が短い時間スケールで変動しているのではないかと推察できるが、今後さらなる検証が必要である。

5. 海面水温の変動特性

図 6 に、40 年分月別海面水温アノマリ標準偏差を示す。なお、標準偏差を算出する過程で季節変動成分を除去するために、各年の各月における海面水温から月ごとの標準偏差し、その結果を用いて計測期間の平均海面水温の標準偏差を算出した。アフリカ南部沖、アルゼンチン沖、日本太平洋沖、北アメリカ付近の大西洋で標準偏差が大きい傾向がある。特に南アメリカ西部の太平洋海域においては、エルニーニョやラニーニャ現象の影響が大きいと考えられる。

6. 結論

海表面高度は全体的にわずかに上昇傾向であり、一部海域では減少傾向が見られた。また、急変する海域では海表面高度の標準偏差が大きいことが明らかになった。海面水温については、暖流およびエルニーニョ・ラニーニャ現象の影響を受けている海域では海面水温変動が大きいことが分かった。また、暖流の影響で海面水温が変動している海域では、海表面高度の変動が大きい。今後は、海表面高度と海面水温の長期変動特性と潮汐変動特性の関係性を明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) 宮内海峰, 森信人, 志村智也, 建部洋晶, 土木学会論文集 B2, Vol. 76, No. 2, I_1135-I_1140, 2020.
- 2) Bosch,W., Dettmering,D. and Schwatke,C. :Multi-missioncross calibration of satellite altimeters constructing a long-term date record ,Remote Sensing6(3) : 2255-2281, 2014.

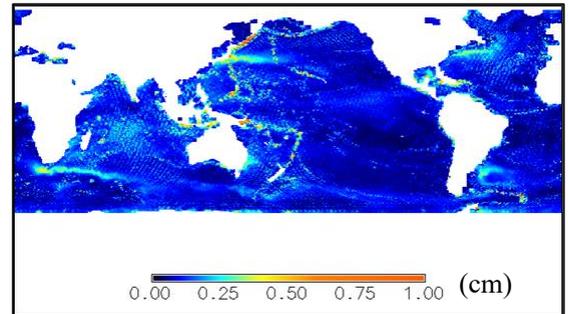


図 4 海表面高度の標準偏差

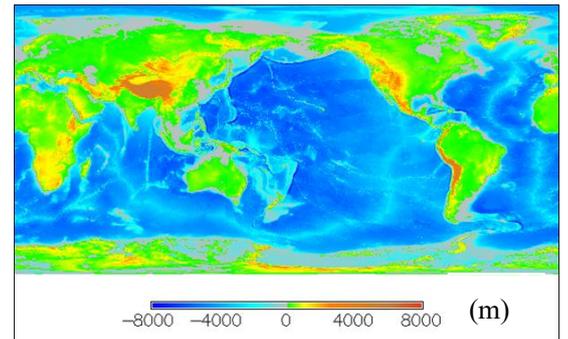


図 5 海底地形

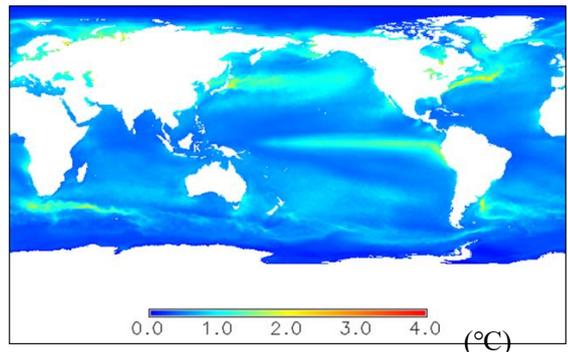


図 6 40 年分月別海面水温アノマリ標準偏差

しいたけの栽培条件把握のための樹冠-林床温度の関連性把握

長崎大学 ○渡邊彰人、森山雅雄

1. 背景と目的

長崎県の対馬では、林業家が林産品としてしいたけの原木栽培をしている。近年、しいたけの生産量が低下しており、収益減少やしいたけ生産者の減少が問題となってきている。しいたけの収穫量の減少が、気候変動が一因ではないかと考え、しいたけ栽培環境の変化を衛星でとらえる試みを昨年度から実施してきた。今年度は、衛星から観測可能な樹冠温度と、実際にしいたけの原木が置かれる林床温度の関係を明らかにすること、また上記の結果から月最高林床温度を面的に把握することを目的として研究をすすめた。

2. 解析手法概要

2.1 樹冠温度と林床温度の関係性を調べる手法

昨年度の山城の卒業研究において、測候所で観測された月間最低気温と衛星から推定された夜間の月間平均地表面温度に相関があることが見いだされ、衛星から推定された夜間の月間平均値表面温度のトレンド解析を行い、しいたけの発生に寄与する9月の月最低気温の上昇している領域を同定することができた。その後、椎茸の栽培は林床部分であるため、気温ではなく、林床温度でトレンド解析を行うべきなのではないか、また、しいたけは夏の高温で障害をうけるため、8月の昼の臨床温度のトレンド解析も必要という指摘をいただいた。そのため、樹冠温度と林床温度の関係性を明らかにする。

樹冠温度と林床温度の関係性を調べるために、エネルギーや水蒸気、炭酸ガスの収支を連続的に計測しているフラックスサイトを用い、その計測値からデータを得た。本研究では、アメリカのエネルギー省が運営している Ameriflux に登録された中緯度の針葉樹林に設置されたフラックスサイトのデータを利用する。

2.2 フラックスサイトでの計測

本研究では、中緯度帯の針葉樹林にあり、4成分放射計で樹冠上部の上向き/下向き長波放射を計測しており、林床温度として深さ2cmの土中温度を計測しているフラックスサイト(図1)のデータを利用した。樹冠温度は、上向き/下向き長波放射の観測値から計算する。これらを用いて、樹冠温度と林床温度の月間統計量の間関係を求め、衛星から推定された森林の地表面温度を樹冠温度に置き換えて、衛星から推定された森林の地表面温度の時系列解析をすることで臨床温度の変動特性を把握する。

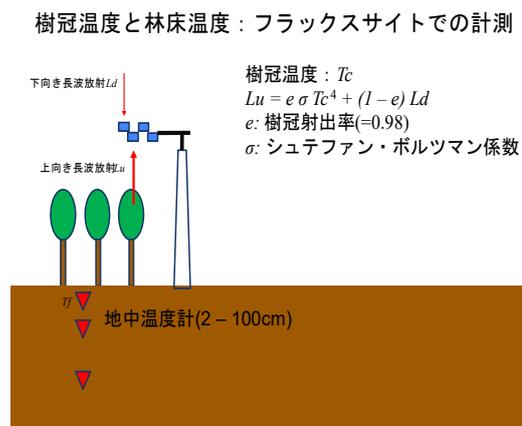


図1 フラックスサイトでの計測項目

2.3 データの処理

衛星から推定された地表面温度として、昼夜10:30に通過する terra、および昼夜1:30に通過する aqua に搭載された MODIS センサから推定地表面温度の利用を想定して、樹冠温度の1時半、10時半、13時半、22時半の月間値、平均値を各フラックスサイトで計算する。

林床温度の月間最低値, 最高値を各フラックスサイトで計算する. 両者を比較し, 各時刻での樹冠温度の統計量のうち, 林床温度の月間最高, 最低温度との回帰誤差が最小のものを, 樹冠温度の代表値として採用する.

今回の研究では, 10カ所の観測値のフラックスサイトを用いた, 一例を図2に示す.

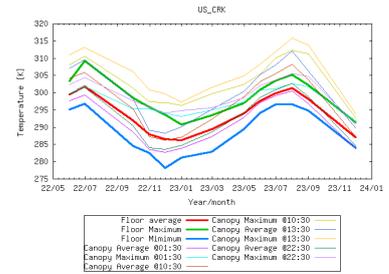


図2 US_CRKでの樹冠温度と林床温度

3. 解析結果

このフラックスサイトで得られた結果から, 樹冠温度と林床温度の関係性を把握するために, 昼間, 夜間それぞれで縦軸に林床温度, 横軸に樹冠温度をプロットする. 図3は, 昼間の林床温度と樹冠温度の関係を示したのものになる. 昼の月間最高林床温度との回帰誤差がもっとも小さいのが 10:30 と 13:30 の月間最高樹冠温度の平均であるため, 昼の月間最高林床温度の代表値としてこれを用いる.

同様に図4は, 夜間の林床温度と樹冠温度の関係を示したものになり, 正の相関があることがわかる. 月間最低林床温度との回帰誤差が最も小さいのが 01:30 と 22:30 の月間平均樹冠温度の平均であるため, 月間最低林床温度の代表値としてこれを用いる.

図5, 図6は, 対馬の地域ごとの年間の地表面温度の変化率を表わしている. 8月は, 温度が上昇していない地域はあるものの, 島内東部の多くの地域で年々地表面温度が上昇している. 同様に9月は, 島内西部において地表面温度が年々上昇している.

4. まとめ

本研究では, フラックスサイトでの樹冠温度と林床温度の関係から, 最大林床温度の変化は昼の10時30分と1時30分の月最大樹冠温度の平均値の変化で代替でき, 夜の月最低温度は, 夜の1時30分と10時30分の月平均樹冠温度の平均で代替できることが明らかになった.

その結果, MODIS センサから推定された地表面温度をもちいて, 対馬の8月の最高林床温度, 9月の最低林床温度が増加している領域が明らかになった. シイタケは, 打菌後8月までに原木内で菌が成長するが, 夏の間高温環境下におかれると菌の成長が停止または死滅が起こりシイタケの発生が抑制される, また, 9月頃にきのこの原基が形成され, その後気温がその品種の発生温度にまで下がってきたらきのこが発生する. しかし, 夜間の上昇温度が上がっているため, きのこの発生温度まで温度が下がることができず, 9月にしいたけが発生することができなくなることが言える. そのため, シイタケの収穫量を上げるためには, 発生するために品種変更を行っていくなどの必要が要ることがわかる.

参考文献

- 1) 山城巧海, 対馬におけるしいたけ栽培状況把握のための衛星データを用いた気象要素の面的把握, 長崎大学, 卒業論文, 2024年2月.

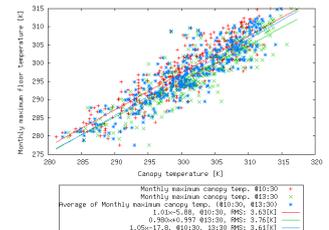


図3 昼間の林床温度と樹冠温度の関係

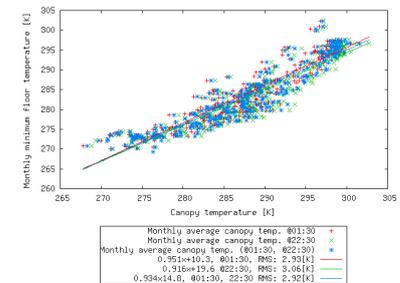


図4 夜間の林床温度と樹冠温度の関係

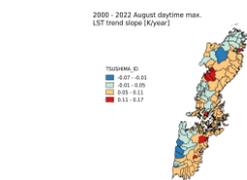


図5 8月の昼間の対馬の地表面温度の変化

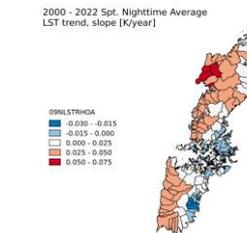


図6 9月の対馬の夜間のお地表面温度の変化

基準蒸発散量計算のための全球的日射量検証

長崎大学 ○坂上翔太、森山雅雄

1. 背景と目的

基準蒸発散量(ET_0)は、その場所の気象条件で十分湿った、健康な草丈 12 cm でアルベド 0.23 の仮想の芝生地からの蒸発散量のことをいい、日射量が多くて気温の高い場所では、この値が大きくなる。この値を算出することは、水資源の効率的な管理において非常に重要である。また、農業分野においても、基準蒸発散量は作物の必要水量を評価する上で不可欠な指標である。この値を基に、作物ごとの実際の蒸発散量を算出することができるため、水の無駄遣いを防ぎつつ、農業生産の効率を最大化することが可能となる。本研究の目的は、基準蒸発散量の計算に用いる全球的日射量として広く利用されている ECMWF 日射量(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts; 欧州中期予報センタ)を、アメリカのフラックスサイトで観測された日射量実測値と比較し、誤差特性を把握することである。

2. 既往研究

Moriyama (2022,2023) が基準蒸発散量の入力変数のうち、全天日射量のみが誤差を含むとして、誤差拡大係数(dET_0/dRs)を計算し、それが 0.3 以下に収まることを示した。

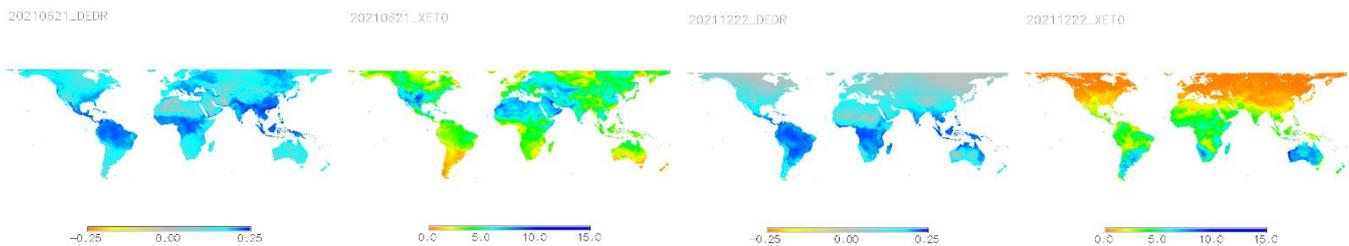


図1 夏至における ET_0 と誤差拡大係数(2021)

図2 冬至における ET_0 と誤差拡大係数(2021)

3. 研究手法

基準蒸発散量は、日積算全天日射量や日最高気温などを代入することで求めることができる。2021 年通年に渡り、ECMWF 気象データを用いて、基準蒸発散量と全天日射量の誤差拡大係数を計算し、日最高気温、日最低気温、日平均露点温度、日平均地上気圧、日平均風速との関係を明らかにする。米国エネルギー庁が管理する Ameriflux サイトより、耕作地、草地の全天日射量の生データをダウンロードし、ECMWF 全天日射量と比較して誤差解析を行う。

4. 研究結果

フラックスサイトでの日射量と ECMWF 日射量を比較した結果、バイアス誤差は $0.462(\text{MJ}/\text{m}^2)$ 、RMS 誤差は $4.583(\text{MJ}/\text{m}^2)$ であることが分かった。図 4.5 にフラックスサイトでの日射量と ECMWF 日射量の誤差が特異的であったグラフ二つを抽出した。図 6 に全フラックスサイトでの日射量と ECMWF 日射量の誤差を表すヒストグラムを示す。



図3 フラックスサイトの観測地点

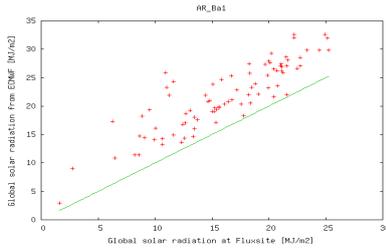


図4 AR_Ba1における日射量の誤差

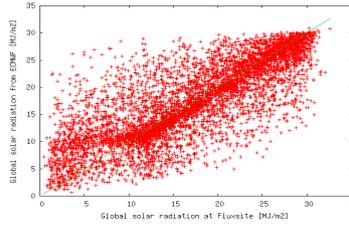


図5 US_ARMにおける日射量の誤差

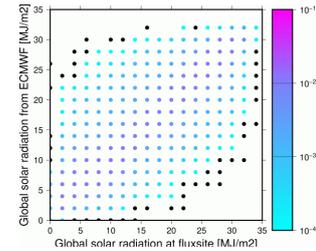


図6 全フラックスサイトで日射量 ECMWF の誤差

図7に縦軸がフラックスサイトで観測された日射量実測値から ECMWF 日射量を減じたもので、横軸が年月日を表すグラフを示す。気温が高い6,7,8月に誤差が大きくなっていることが読み取れる。また、最大でも誤差が $20(\text{MJ}/\text{m}^2)$ 以内に収まっていることが分かる。

図8.9.10に全天日射量の誤差拡大係数と気象要素との関連についてのヒストグラムを示す。縦軸が誤差拡大係数で、横軸が気象要素である。特に図8の日最高気温のヒストグラムを見てみると、気温が高いときに誤差拡大係数も大きくなっていることが読み取れる。

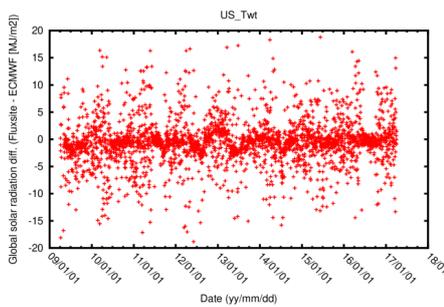


図7 US_Twtにおける誤差

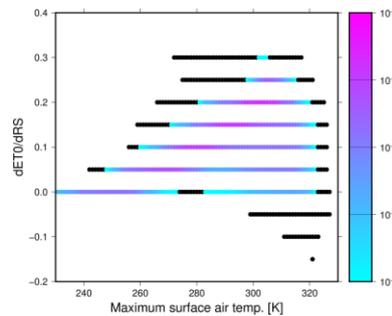


図8 日最高気温と誤差拡大係数

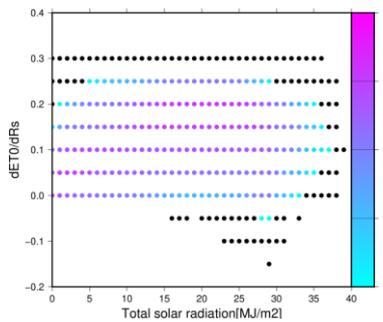


図9 日積算日射量と誤差拡大係数

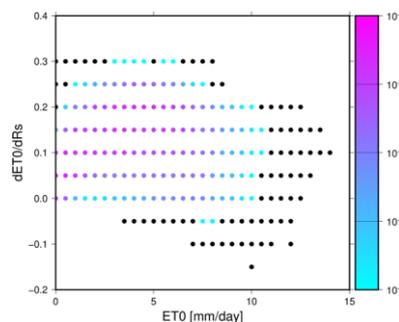


図10 ET₀と誤差拡大係数

5. 結論

ECMWF 気象データを用いて、基準蒸発散量と全天日射量の誤差拡大係数を計算した結果、気温が高いときに誤差拡大係数が大きくなる傾向にあることが分かった。また、ECMWF 日射量をフラックスサイトでの日射量を用いて検証し、誤差が最大でも $20(\text{MJ}/\text{m}^2)$ 以内に収まっていることから、誤差拡大係数が最大の 0.3 の時でも、基準蒸発散量の誤差が最大でも 6mm 以内に収まることが分かったため、ECMWF 日射量は基準蒸発散量の計算に利用可能であることが明確になった。

温州みかんの光学的樹勢把握手法の開発

長崎大学 ○藤田伊織、森山雅雄

1. 目的

JA ながさき西海では、通常の 3 倍以上の価格の温州みかんを栽培している。栽培者は生産者組合をつくり、施肥、摘果の標準化を行い、光学的に糖度を計測し、糖度 13 以上という甘いミカンを全国に出荷している。JA ながさき西海は、出荷 1~2 カ月前くらいに、その年の出荷量を予測し、全国に営業をかけるが、出荷予測は過去の経験から決めており、その予測が外れることがあるため、当年の出荷量と品質、平たく言えば糖度がどのくらいのみかんがどのくらいとれるという予測をなるべく正確に見積もる必要がある。すでに、長崎農試では接触式の色度計を用いた解析を行っているが、一枚の葉の中でのばらつきが大きいので、計測回数を増やす必要があり、実用的でないという結論に至っている。

このため、本研究は、温州みかんの収量や品質、つまり糖度や酸度に関連する樹勢を光学的遠隔計測で把握する手法の確立を目標とする。

2. 光学的樹勢把握手法

健康な葉は光合成を行う。光合成は葉内の水に浸かった葉緑体が赤と青の放射を吸収して起こる、また葉の最外殻には、水に吸収される波長 $0.7 \mu\text{m}$ 以上の放射を反射する層がある(図 1)。このため、健康な葉は赤の放射が緑や近赤外よりも小さい。樹勢を光合成の程度であるとすれば、樹勢は赤の放射の吸収量と定義できるが、これを計測するのは困難であるため、赤と緑、または赤と近赤外の反射を計測し、その差が大きいと樹勢が高いと定義できる。

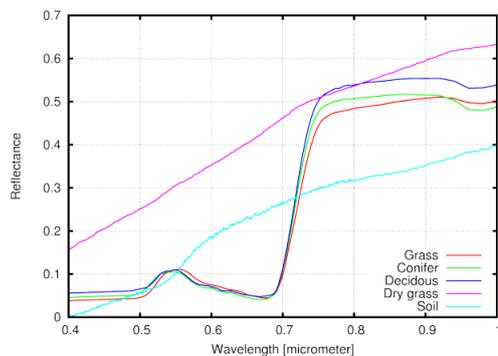


図 1 分光反射率の図

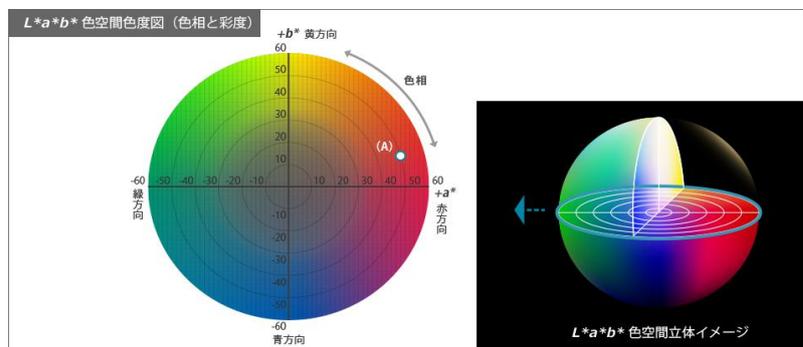


図 2 Lab 色空間色度図

本研究では、樹勢を表す指標として、可視域のみの計測から算出できる Lab と、赤と近赤外の計測から算出できる NDVI を用いた。NDVI とは、 $NDVI = \frac{\rho_{0.8} - \rho_{0.6}}{\rho_{0.8} + \rho_{0.6}}$ という式を使った赤の反射率と近赤外の反射率の差を正

規化したものである。図 2 で示しているように RGB を明るさを表す L と、緑味を表す a 値、黄色味を表す b 値に変換し、緑が大きい葉が健康、つまり樹勢が高いことを意味する。これらの光学計測値と実際のみかんの収量、酸度、糖度との相関分析を行い、相関の高い光学計測値を決め、それを現地で計測して樹勢把握につなげる。

3. 利用データ

3.1 研究方法

対象領域を大村の長崎県農林技術開発センター果樹研究部門のみかん園(図3)とし、樹木毎の収量、品質が得られるみかんの木を UAV, Greenseeker, デジタルカメラで観測した。

集果 1,2 か月前にみかんの木の中央部を Greenseeker2 で NDVI を計測する。同時期に多重分光放射計を用いて園内の樹木を撮影し、NDVI を計測して、収量、糖度、酸度と比較する。

また、集果 1,2 か月前にデジタルカメラでみかんの木を撮影し、画像処理ソフトウェア ImageJ を用いて a 値を計算し、収量と比較する。



図3 対象地



図4 Greenseeker2



図5 Phantom4Multispectral

3.2 樹勢と収量、品質との比較

- ・デジタルカメラから求められる a 値と収量の比較
- ・Greenseeker2 (図4) で計測した NDVI と収量、糖度、酸度の比較
- ・Phantom4 Multispectral (図5) で計測した NDVI と収量、糖度、酸度の比較

4. データの結果

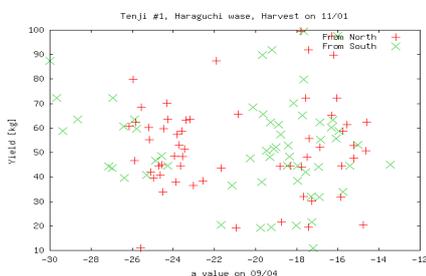


図6 a 値と収量の比較

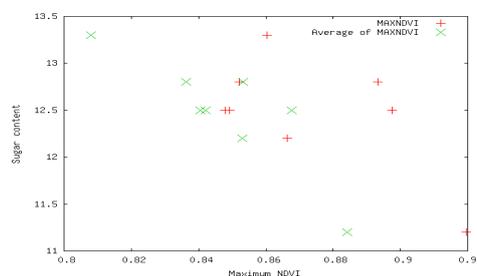


図7 Phantom4Multispectral で計測した NDVI と糖度の比較

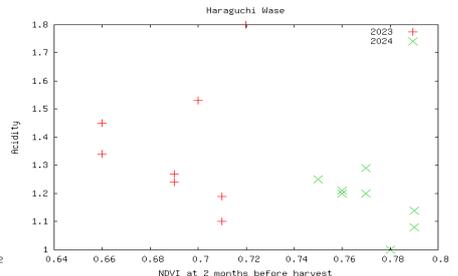


図8 Greenseeker2 で計測した NDVI と酸度の比較

5. 考察

これらのデータにより、最初にデジタルカメラで a 値と収量の比較をしたが、図6のようにデータにばらつきが多くみられ相関は見つからなかった。次に Greenseeker2 と Phantom4Multispectral を用いて NDVI と糖度、酸度の比較を行った。NDVI と糖度の比較では、図7のように UAV から得られた NDVI の平均値が高いと糖度が低くなるのがわかる。一方、図8を見ると NDVI と酸度の比較では集果 2 か月前は弱い相関関係があるように見えたが、1 か月前になるとばらつきが多くなる。これはみかんの木がマルチングにより水ストレスを受けて有機酸が生成され、それを糖に変化させているからである。そのため集果 2 か月前のみかんにはのちに糖に変化する酸が多くあったことがわかった。

6. 結論

みかんの収量推定は摘果という人為的行為の影響が強く光学計測では推定困難という結果が得られた。また、糖度推定への NDVI の利用可能性が示され、近赤外観測の必要性が明らかになった。

光学的手法による稲作管理手法の開発

長崎大学 ○井手颯太郎、森山雅雄

1. はじめに

現代の稲作では、農家の高齢化によって施肥状況の把握が疎かなまま栽培する農家が増加している。それにより、収穫量減少や品質の低下が問題となっている。

本研究では、施肥状況を簡易的に把握する手法を開発することで適切な施肥管理が可能になると考え、稲の生育状況を光学的に把握する稲作管理手法の開発を目的とし分析・考察を行った。

2. 光合成と葉の分光反射率

光合成は葉の中の葉緑体と呼ばれる色素が光を吸収することで行われる。緑、近赤外領域の反射率と赤の反射率の比較により、光合成の評価を行うことができる。

本研究では、葉の分光反射特性を表す指数として NDVI と CIE lab を用いた。

3. NDVI と CIE lab

NDVI とは式 (1) で定義される。植物による光の反射の特徴を利用して植物の健康状態や光合成の程度、葉の緑濃度を表す植生指標である。

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \quad (1)$$

NIR:近赤外 (0.8μm) の反射率 Red:赤の反射率

CIE labとは人間の視覚に基づいた色の測定方法を提供する色空間(図1)である。L (明度), a (赤-緑軸), b (黄-青軸) の3つの成分で色を表現している。a値は小さい程、赤に対して緑が多いことを表すため植物の葉の色や植物の健康状態に密接に関係している¹⁾。

ここで、視野内に葉がある場合はNDVIとa値は葉の色、分光反射率に対応し、視野内に圃場がある場合はNDVIとa値は緑被に対応する。

4. 計測概要

2024年7月23日に長崎県諫早市貝津町に位置する長崎県農林技術開発センター内の水田(写真1)で行った。基肥量が異なる6つの区画(図2)N3(3kg/10a), N5(5kg/10a), N7(7kg/10a), N9(9kg/10a), N11(11kg/10a), N13(13kg/10a)において、NDVIの値はGreenSeeker2, Phantom4 Multispectral (P4MS:5波長放射計とRGBカメラが搭載されたドローン), Planet (3.7m分解能の衛星データ)で計測し、CIE labのa値はデジタルカメラで撮影したJPEG画像, P4MSの5波長放射計で撮影した画像, P4MSのRGBカメラで撮影した画像を使用し、画像処理ソフトウェアImageJを用いて計算した。

5. 収穫量

区画ごとの収穫量を図3に示す。基肥量が多いほど収穫量は増加したが、N7以上の区画では収穫量にほとんど変化がみられなかった。また、

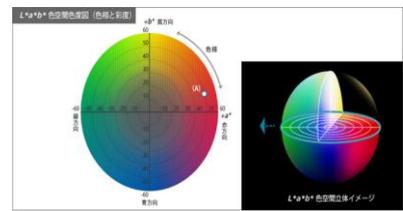


図1 Lab色空間色度図



写真1 計測対象地

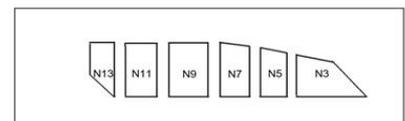


図2 計測対象区画

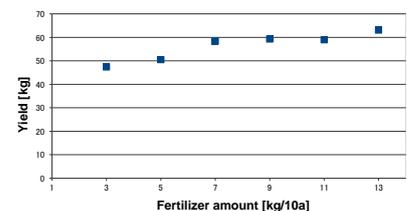


図3 区画ごとの収穫量

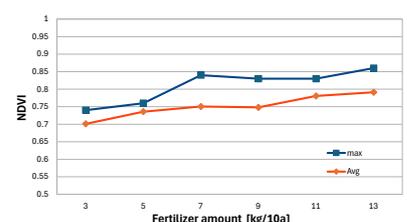


図4 Green Seeker2での計測結果

N11 と N13 では成熟期ごろに倒伏や病害の発生がみられたため、ここまでの多肥は不適である。よって基肥量 7kg/10a が収穫量と肥料コストのバランスが取れた施肥量であると考えられる。

6. 計測結果

6.1 NDVI の計測結果

Green Seeker2 での計測結果を図 4, P4MS での計測結果(P4MS_NDVI)を図 5, Planet での計測結果を図 6 に示す。N7 では Green Seeker2 は最大値が 0.84, 平均値が 0.75, P4MS は最大値が 0.91, 平均値が 0.84, Planet は最大値が 0.81, 平均値が 0.78 を示した。それぞれの計測において、これらの値を把握することで適切な施肥量を判断することができる。

6.2 CIE lab の a 値の計測結果

デジタルカメラで撮影した JPEG 画像での計測結果 (カメラ_lab) を図 7, P4MS の 5 波長放射計で撮影した画像での計測結果を図 8, P4MS の RGB カメラで撮影した画像での計測結果を図 9 に示す。N7 では、P4MS の 5 波長放射計で撮影した画像は a 値の平均値が-38.8, P4MS の RGB カメラで撮影した画像は a 値の平均値が-24.4 を示した。これらの値を把握することで適切な施肥量を判断することができる。デジタルカメラで撮影した JPEG 画像での a 値では N7 の値を把握することはできなかった。これはデジタルカメラの画像から計算した a 値は単葉の色に対応するが、UAV の RGB カメラから計算した a 値は緑被に対応するものであるため、施肥量は葉の可視域の色よりも繁茂状況に大きな影響を及ぼすことを示す。

7. まとめ

得られた結果においてそれぞれの計測手法を N<7 の判別, コスト, 後処理の要否, 測定範囲の観点から評価した結果を表 1 に示す。

表 1 計測手法の評価

計測手法	N<7 の判別	コスト	後処理	範囲
カメラ_lab	×	ほぼ 0 円	要	圃場毎
Green Seeker2	○	10 万円	不要	株毎
RGB カメラ付き トイドローン	○	2 万円～	要	～200m
P4MS_NDVI	○	180 万円	要	
Planet	○	30 万円/25k m ²	要	25k m ² 以上

本研究では、複数の計測手法を評価することで、農家が実施可能で最適な稲作管理手法を選定するための指標を確立することができた。

参考文献

1) 測色計で色を数値化:

<https://www.konicaminolta.jp/instruments/knowledge/color/section2/2-02/>

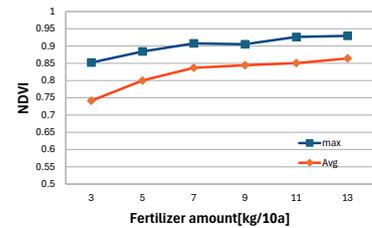


図 5 P4MS での計測結果

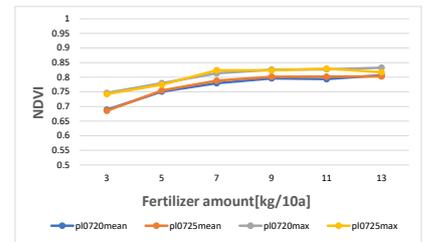


図 6 Planet での計測結果

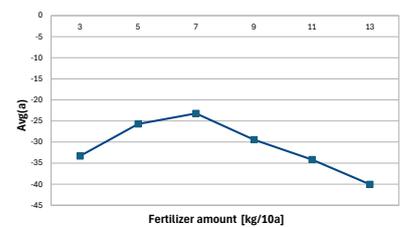


図 7 JPEG 画像での計測結果

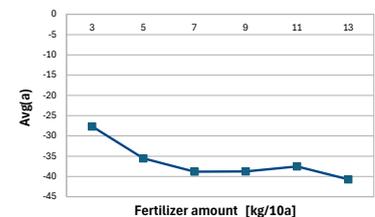


図 8 5 波長放射計で撮影した画像での計測結果

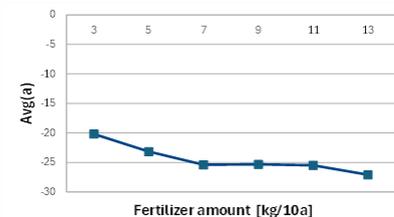


図 9 P4MS の RGB カメラで撮影した画像での計測結果