

## 第47回測量調査技術発表会

# 都市および河川空間を対象とした緑地環境のセンシング

茨城大学 学術研究院 応用理工学野 教授 桑原 祐史



### 自己紹介

皆さんこんにちは。茨城大学の桑原と申します。まず初めに、このような講演の場を頂きましたこと、心より御礼申し上げます。私は、茨城大学の都市システム工学科に勤務しています。私が学生であった頃は、もう少し学科の名前は直球勝負で付いていましたが、最近は何となく分かったような、分からないようなイメージ主体の学科の名前になっていると感じます。分かりやすく言いますと、都市システム工学科は土木と建築の学科です。

まず簡単に私の紹介をさせていただきます。私は神奈川県秦野市で生まれ、栃木県小山市で育ちました。

振り返ってみますと、私の学生時代はJERS-1といった衛星の映像が出てきた時代です。昨今ではドローンという躯体が出てきました。更に小型衛星も出てきて、観測手段としてコンステレーション体制が実現しています。宇宙空間の中でも大変多くの人工衛星が飛んでいる、そんな時代になってきました。

では、学生当時、どんな環境でデータを処理していたか思い出してみますと、メインフレームとってCPUは手元になく、ケーブルで大きなコンピュータとつながっている端末の利用やPC98シリーズで計算をしていました。そんな時代を通り過ぎ、ワークステーションを経て、現在では改めてPCベースで物が動く時代に来ています。現在のプラットフォームやコンピュータの解

析環境も、あと何年か経ったら「あの時代は」と振り返られるのでしょうか。非常に変化が激しい時代に生きてきているんだなと実感しています。



本日のお話ですが「都市および河川空間を対象とした緑地環境のセンシング」というタイトルを掲げて頂きました。私の勤務先は茨城大学工学部です。茨城県の大学なので水戸市にあると思われる方もいらっしゃるでしょうが、工学部は成り立ちの関係でキャンパスは日立市にあります。水戸市から約30キロ程度北に行った町でして、さらに同じ距離を北に向けて走りますと、勿来の関を越えて東北に入るような、そのような位置に日立市は所在しています。近頃の朝晩は涼しい風を肌で感じる事ができ、お盆の時期を過ぎますと秋を感じる環境にある町です。

スライドに示す建物は小平記念ホールとって、日



立製作所初代の社長が大学に寄付をして建てて下さった建物です。昔は図書館として利用されていた建物ですが、今は改修され、ホールとして使用しています。

学生はこのような部屋で研究しています。左上に示す部屋は解析室です。右上の部屋は学生室でして、ここで学生は調査したデータのまとめや勉強をしています。左下の部屋は学生室のスペースでして、テーブルでその日にいる学生と教員がお昼を食べています。少々雑然としているため、プロの方々にお見せするのは恥ずかしいのですが、右下のような実験室で実験や装置製作などをやっています。今日は学生の研究成果についてお話をしますが、大学では研究自体ももちろん大切なのですが、人材育成という観点も重要視しています。研究の結果も重要、人材の育成も重要と私も考えています。本学の学部や修士卒業生が皆さまのところに就職活動に伺った際にはどうぞよろしくお願ひします。少々PRさせていただきました。スライドの右側には研究室で奨励しているタイムスケジュールを示しました。学生には「9時半、10時ぐらいには来てください」と言っています。しかしながら、夜型の学生も時々おり、朝、来ないということもあるのが悩みでもあります。大学卒業修了後、社会人になるのですから、定時に学校に来る訓練は大切です。そして「食事・お話」というようなことも書いてありますが、何気ない話から学生のコンディションを把握するためにも、私にとっては重要な時間となっています。きちんと研究をして、夕方帰宅する、というライフスタイルというか、パターンを作ることを学生には奨励しています。極端ですが、夕方来て夜中帰る、というのは生活のリズムとして良くないので、朝来て夕方帰宅し自分自身で食事を作って食べる、いわゆるルーティン化が重要であることを学生には言い続けて、研究をやっています。継続が重要

です。

研究室での研究では、右上に示すマーシャル諸島ですとか、右下に示すネパールで2017年にM7.5、7.4の巨大地震があった後の災害調査ですとか、このような海外調査も時には行っています。災害調査は危険が伴うこともあるので、学生は行っていませんが、環境調査には学生を伴って行くこともあります。こうした調査について彼らが論文にまとめたものを、土木学会の年次講演会等で発表したり、色々な学会の論文集へ投稿したりというチャレンジを彼らと一緒にやっています。

都市および河川空間を対象とした緑地環境のセンシング  
海・川・緑〜 茨城県の可住面積30-40% (山地部15%、河川湖沼5%)

◎地域でのCO<sub>2</sub>環境の可視化  
大子町、石岡市、守谷市 といった茨城県内の市町村の“生活環境圏”におけるCO<sub>2</sub>濃度を365日、簡易センサによって連続観測したデータを用いています。が、ご存じの通り、ある程度の“精度”をどのように担保した良いのでしょうか？この点に苦労してきました。データ収集はWiFiの利用によりある程度解決してきています(が、2.4GHzは、速度や干渉や...)。

◎合成開口レーダデータを用いた植生量の評価指標提案の試み  
河川区域に分布する植生は、粗度として河川の流下能力に効いてくる一方、バイオマス資源にもなり得ます。産業従事者が減少することが見込まれている地方都市では、この区域の植生量を現地に赴かず遠隔観測で把握し、活用することが望まれています。

◎南太平洋島嶼国のリーフ上の計測  
大潮の干潮となる時間帯に、リーフの多くの海水が引き、島本体からリーフのエッジ部に向かって移動が可能となります。この時にリーフに生息する藻類や虫の生息域を確認することができます。が、最干潮の時間帯は1時間強となるため、潮のタイミングに合わせた観測が必要となります。このため、駆体としてドローンの利用が有利ということになりました。今後、コンステレーション衛星の利用ができるとうれしく考えています。

本日お話する研究内容を整理しました。茨城県は非常に平坦な地域です。平坦な土地から荒地や、まだ未開発の場所、湿地などを引き算した可住地面積は、県面積の30%から40%程度というのが一説です。では湖沼がどのくらいあるかと言うと、実はご存じの霞ヶ浦が茨城県にはありまして、これが県土の2~3%を占めています。それだけではなく、恐らく関東唯一だと思えますが、汽水湖である潤沼というラムサール条約に批准された沼もあります。茨城県には、利根川、那珂川、久慈川といった1級河川にそのような湖沼を加えると、実はかなりの河川、湖沼エリアがあります。

この茨城県で、地元を対象とした研究を進めて行く上で何が大切かと言うと、海と川と緑というこの3点セットではないかと考えています。振り返ってみると、1点目が地域でのCO<sub>2</sub>環境の可視化ということです。1万数千円ぐらいの非常にライトなセンサーで地域の環境を計測し、しかも計測し続けようとした時に、どうやってその地域の環境を可視化できるのかというチャレンジが1点目として、これが「緑」にあたります。

2点目が合成開口レーダを使った植生量の評価指標の提案です。これはまだOn Goingのところがあるの

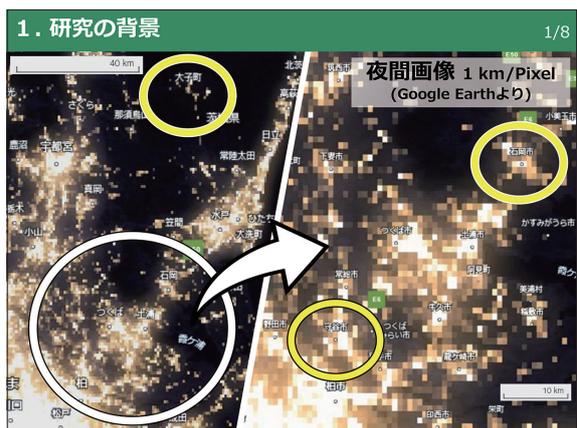


ですが、これが「川」に類することです。久慈川や那珂川は、1級河川の中では比較的小さめな川かもしれませんが、1999年には洪水も引き起こしています。また那珂川は栃木県から茨城県に流下してくる特殊な河川でして、流域に2つの特徴があると言われてます。那須野ヶ原から茨城県境までに1つの流域があり、山間部を通過して茨城県に流化してきますが、茨城では全く雨が降っていない時でも、栃木県で大雨が降ると茨城の下流で洪水が観測されることがあります。このため、川というのは茨城県にとってはとても大切な計測対象、分析対象になっています。これが「川」の内容です。

そして、ご存じのとおり茨城県の東側は太平洋に面しています。海岸総延長約185キロメートル、2011年には津波の被害もありました。このように茨城県にとって「海」も大切な場所として、そのような場所の研究事例として、南太平洋島嶼国のリーフ上の計測のお話をします。先ほどもドローンやレーザースキャナーを使った色々な研究の成果を、勉強させていただきまして「いや、これはまだまだ勉強しなきゃいけないな」という点がたくさんあり、今後も色々と教示いただければと思っています次第です。

今日はこの3点について、私共の研究成果のお話をさせていただきますと思います。

Topics No.1 茨城県地域のCO<sub>2</sub>環境の可視化



1点目が、茨城県地域のCO<sub>2</sub>環境の可視化というお話です。これは、皆さんご存じの衛星の夜間画像です。左の画像の上の黄色い円の範囲が茨城県の最北端の犬子町という、福島県との県境の町となります。そして日立や、ひたちなか、大洗と書いてある左の画像右側の白い部分が太平洋のラインということになります。そ

して中央部分に示す白い大きな円がつくば市、土浦市、柏。茨城県南部、つくばエクスプレスの沿線地域になります。

守谷市近傍を拡大してみますと、利根川のラインからすぐ北側が守谷市です。守谷市では、各家庭なり工場なりから出てくる夜間の光の量が、非常に多いところと少ないところが隣接しているのが特徴です。我々の研究室では、2007年から茨城県内のCO<sub>2</sub>濃度の観測を行っています。街路樹（最高12m程度）より低い、生活環境圏でのCO<sub>2</sub>濃度を測っているのが特徴です。何故かという、CO<sub>2</sub>濃度の全球平均は416~417ppmと言われていますが、これは、ハワイのマウナロアや、日本の南鳥島など、人があまり住んでいないところで計測されたCO<sub>2</sub>濃度の平均で、実際私の研究室にCO<sub>2</sub>濃度計をずっと置きながら、365日計測していると、私が部屋に入った瞬間に大体470ppmぐらいあります。建築基準法で決まってる部屋のCO<sub>2</sub>濃度の制限は1,000ppmで、私だけなら1,000ppmを超えることは全くありません。また、街の中の濃度はどの程度なのかという、これが470~480ppm程度はあります。そういう生活圏のCO<sub>2</sub>濃度について、この守谷とつくば市、もう少し北にある昔茨城県の中心であった石岡、さらに水戸や、先ほどの県北の犬子とで、どのような濃度になっているかを比較してみました。

2/8

### 2. 研究の背景

◆ カーボンニュートラルの推進を背景に

CO<sub>2</sub>現況量の計測 効果を検証したい

可視化

**まちの価値向上**

(地価と居住環境の改善)

- ・環境が良い
- ・生活の質の向上
- ・まちのクオリティが高い

**CO<sub>2</sub>削減**

Geomatics Engineering Laboratory, BAPPAKU University

「2050年までにカーボンニュートラルを達成しよう」という中で、「町の価値」については色々な主観があるかと思いますが、その中の1つとして、居住環境として「大気環境が良かったら居住環境が良いでしょう」という考え方もあると思います。

CO<sub>2</sub>排出量の計算を行い、2050年に向けてどういふ対策を打てようかという議論が、県内でも色々な町で進んでいますが、ではその効果をどうやって見て

いくのか。一つにはセンサーを使った現況量で確認することもCO<sub>2</sub>濃度の可視化ということで、重要ではないかと考えました。

**3. 研究の背景** 3/8

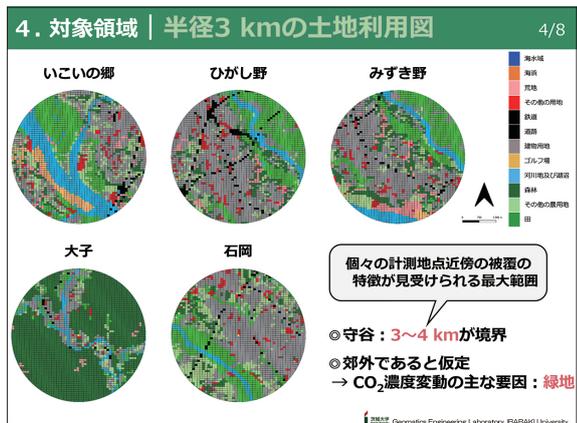
**指標の適用範囲の検証をしたうえで、茨城県内の地域性を評価する**

**作業目標**

- ① CO<sub>2</sub>濃度の計測
  - ・ 大子と石岡の計測（従来） + 守谷の計測（新規）
- ② 計測したCO<sub>2</sub>濃度データの補正・サンプリング方法の確立
- ③ 計測したCO<sub>2</sub>濃度をIndex化し、地域分析を行う
  - ・ 近傍地点でCO<sub>2</sub>濃度に被覆による違いがあるか
  - ・ Indexが何を示しているのか
  - ・ 守谷の住環境はどうか

Geomatics Engineering Laboratory, SAPPORO University

「指標の適用範囲の検証」というのは、どの程度のピッチでセンサーを置くと、隣の場所の影響を受けずに固有の数値が出てくるかということを検証するものです。その上で、他の市町村もずっと計測してきていれば、その市町村と守谷市とで濃度の関係がどうなってるかを比較してみるとということが、この研究の主な内容です。作業は、この1、2、3のステップでやりました。



指標の適用範囲ですが、結論として半径3キロメートルぐらいというのが、明らかな影響として地域の特徴を捉えることができる距離感だということが分かりました。

図中左上に示す1点目の場所、この青い部分が利根川です。これは国土数値情報の土地利用のデータですが、この「いこいの郷」という地点では、河川が非常に多くの面積を占めています。真ん中の「ひがし野」という地点では市街地が多くを占めているのですが、その中でも特に鉄道や道路といった、幹線交通が多く分布しているということが分かります。そして一番右の「みずき野」というところは、意外と幹線道路から

は遠く、でも建物用地が広がっていて、かつ周辺にその他農用地や森林というところも点在しており、この3つのエリアが、濃度値の違いとして表れてくるということが分かりました。

そして比較する場所ですが、この3つの地点は守谷市内で3キロぐらいしか離れていませんが、石岡はここから大体20~30キロ北の市です。大子はもっと遠く、茨城県の北の外れの町で、もうほぼほぼ全部、緑で覆われています。石岡に関しては、ぱっと引いてみると、このみずき野と、意外と土地利用の雰囲気が似てることが分かるかと思います。

従って期待する結果としては、土地利用の状態から見ると、みずき野と石岡が、ほぼほぼ濃度値としては同じぐらいのレベルを表すのではないかと、石岡より大子のほうが低いのではないかと。このような仮説を持ちながらデータ分析をしてみました。

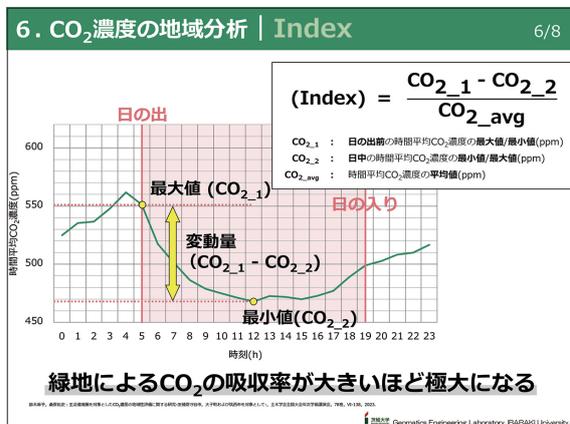
**5. 使用機材 | 設置環境** 5/8

作業目標①

Geomatics Engineering Laboratory, SAPPORO University

左側に示す計測器が設置したCO<sub>2</sub>の濃度計です。非常に小さな濃度計です。コロナがまん延した時には、飲食店などにも時々置いてあったようなものです。これを、この小さな計測ボックスの中に入れ、入れただけではこもってしまうので、ここにファンをつけて空気が循環するようにして、守谷市内の3カ所に取り付けました。Wi-Fi経由で、1時間ごとにデータが研究室に送られてくるといった、Windowsを使った簡単な装置です。右側は大子町と石岡市に設置した自作の百葉箱です。これは木できていて、この中に約9秒で空気が入れ替わるような力を持ったPCファンを上部に取り付けて、下から吸って上から出すように自作したものです。というのは、この計測器が3秒に1回データを取っていますので、その時間よりも少し多く滞留させ、センサーでチェックした後に外へ吐き出すようなタイミングを作りたくてこのファンの形にしました。実は大子町や石岡

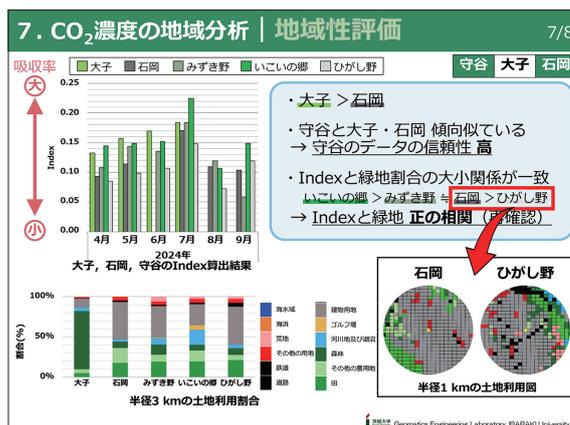
市ですと、屋上にこのようなものを設置する空間を借りやすかったのが、こうなったのですが、さすがに守谷市内で3キロごとにこういう場所を確保することは難しく、設置の状態が若干違うという点が、多少問題点としては残るところではあります。



取った濃度のデータがどうなっているかという、これは一例ですが、左側が朝の5時から6時、右側が午後の21時、22、23時、中央部が正午になります。そうするとCO<sub>2</sub>の濃度は、日の出ぐらいの時間帯が一番高く、これは晴れの日でしたが、昼に向かって下がっていきます。そして夕方、日の入後は植物が呼吸に回るので、またどんどん高くなっていきます。これが茨城県の一つの特徴で、守谷市でも、日立市でも、大子町でもこのようなパターンを示しています。ただ、東京都内の某所で、この同じセンサーを使ってデータを取ったところ、正午に下がるのではなく、逆に上に凸になるようなところもあります。従ってCO<sub>2</sub>の濃度というのは、計測方法は異なるものの、やはり日本の中で一様ではなくて、高いところもあれば低いところもあり、その変動のパターンは、当然のことながら土地利用や地域性ということによって変わるといことが、まずは初歩的な発見として明らかになりました。

ではこのパターンをどうやって数字にするかということなのですが、厳密に「それでいいのか」と言われますと、私は植物の研究者ではないので、怒られてしまうかもしれませんが、日の出の時の濃度値を最大値とし、昼間の一番濃度が下がった時を最小値として、その差分を変動量、いわゆる植物の効果によって吸収された量であろうと見立てて、それが地域地域の平均値からどの程度の率にあるのかということ計算してインデックス化しました。

これを守谷市の3地点と、石岡市、大子町とで比べ



ると、やはり緑が多い大子町はインデックスの値が大きく、緑地の環境は良い、ということが分かりました。そして、石岡市よりも大子町のほうが大きいということ。みずき野と呼ばれている少し住宅地ではあるものの緑地が散在しているようなところと、20キロ北側の石岡市が大体同じぐらいだということ。そして、ひがし野と呼ばれている幹線道路が近いところだと、やはり大気の状態はあまり良くない傾向があるということが確認されたというのが結論になります。

このようにCO<sub>2</sub>濃度は計測器、百葉箱を置くと定点観測になるわけですが、そこに風向風速計を設置しておきますと、風の強さと風向が分かりますから、私たちが高校生の時に習った極座標というのをを使って「CO<sub>2</sub>濃度、どちらからどれくらいのベクトルで来たの?」というふうに分解すると、実は土地利用図と同じように面的に色塗りされたCO<sub>2</sub>濃度マップを作ることも可能です。よくデータが取れた時で、もちろん変な排出があつてノイズが入ると駄目ですが、そうでなければそのようなマップも作ることができます。ですから実は、風がレーダの波になって、CO<sub>2</sub>のデータは360度、そしてある程度離れた距離からもデータを取ることができて、その地点というのは、緯度、経度と高さ、いわゆる地理空間情報になり得るといったことが、この研究をやっていてよく分かってきました。皆さんご存じのとおり、地表面のCO<sub>2</sub>濃度の分布は、人工衛星いぶきのデータを使って国立環境研究所が研究しています。地表の観測点を増やすといっても、3キロメートル単位ですから、いぶきの方がいいのかなと思うこともありますが、そのいぶきのデータを検証するとか、或いはいぶきでもあまりよく分かっていないようなところの地点地点を比較する時は、こういう直接計測という方法も必要ではないかと思っています。

8. まとめ |

8/8

◆ 研究の成果

- ①CO<sub>2</sub>濃度計測地点の**拡大・維持管理**
- ②計測したCO<sub>2</sub>濃度データの**補正・サンプリング方法の確立**
- ③**数km単位**でもCO<sub>2</sub>濃度に**被覆の違いが表れる**ことが判明
- ④守谷市 **緑地のCO<sub>2</sub>吸収率が大きく**、緑地の機能を十分に発揮している
- ⑤**石岡とみずき野の緑地の効果が同じ**であることを確認

◆ 今後の展望

- ①CO<sub>2</sub>濃度計測を**継続し**、**データを蓄積**したうえで、季節ごとに相関を求めるなどして改めて検証する
- ②IndexとNDVIの関係を正確に調べるために、**NDVIの推奨方法を改善**する

Geomatics Engineering Laboratory, IBARAKI University

この研究の成果をまとめてみます。「石岡とみずき野の緑地の効果が同じであることを確認」と書かせてはいただきましたが、「では数字が1違ったら何がどう違うの?」というところまでの物理量を持っているかという、そこまで検証できているインデックスではありませんので、「レベルが同じ程度である」と言及するに、ここではとどまらせていただきたいと思います。

Topics No.2 合成開口レーダを用いた植生量の評価指標の提案

1.背景・目的②

1/8

◎ 河川環境に関する現状

- 地球温暖化は水循環の変動性を**加速化**<sup>4)</sup>
- 実際に、**強度の高い降水発生回数が増加**<sup>5)</sup>
- 日本全体の洪水氾濫域に**多くの人口や資産**<sup>6)</sup>

日本では**5年に1度**河川環境の調査<sup>7)</sup>  
→河川環境や植生、地形や水域の状況が**現在と異なる**

**河川区域の現状の把握が重要**<sup>8)</sup>

Geomatics Engineering Laboratory, IBARAKI University

2点目が合成開口レーダを用いた植生量の評価指標の提案です。先ほどプロの皆さまの発表を拝見しておりましたが、これまでも河川や河川構造物の変位などを対象にした研究や業務を幾つも拝見させていただきました。これは有名な図かと思いますが、年々降水量が増加していることを示しています。昨年、一昨年と茨城県でも、いわゆる南太平洋の島のスコールのような突発的な豪雨が、夏から秋にかけての時期にありました。一瞬にして道路が水没してしまうようなことが結構あります。これについては、日本の津々浦々で起きているのではと思います。

日本での河川環境の調査は、河川水辺の国勢調査

が代表的で、もっと細かい調査もされているかと思いますが、河川水辺の国勢調査では、5年に1回、環境や植生状態の調査がなされています。この情報を、もう少しリアルタイム性を高めて補完的に捉えたり、上流から下流まで一様に一気に調査して計量化するようなことができないか考えたのが、この研究のスタートです。

2.本研究の目的

2/8

目的:

河川環境の把握に先立つ調査に対して、河川水の流れ易さ、という点に着目し、合成開口レーダデータとマルチスペクトルデータを組み合わせることにより、植生量を強調した指標を提案する。

解析で目標とするところ:

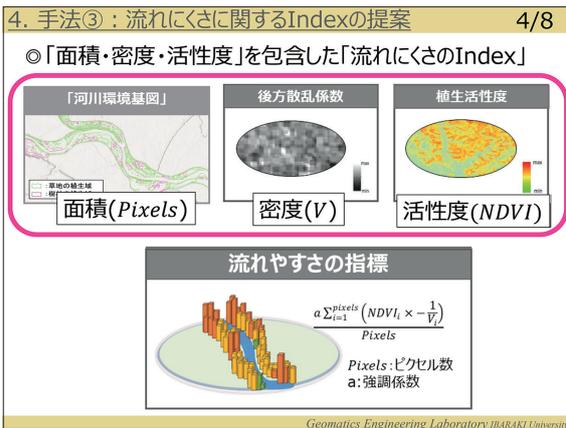
- ①Google Earth の衛星画像を基準として、2017年および2021年のSentinel-1およびSentinel-2の衛星画像を幾何補正した。その際に、地上基準点(GCP: Ground Control Point, 以下、GCP)の判読のキー(被覆や幾何学的特徴)を検討し、RMS誤差が小さくなるよう工夫する。
- ②2017年の河川区域の樹林と草地の河川環境図を基に、草地と樹林の正規化植生指標(NDVI: Normalized Differential Vegetation Index, 以下NDVI)及び後方散乱強度画像の特徴について調査する。
- ③後方散乱強度と植生の活性度であるNDVIを活用した河川環境の情報を補う流れ易さの指標を考案し、2017年、2021年の久慈川の河川区域に対する適用性を検討する。

Geomatics Engineering Laboratory, IBARAKI University

衛星画像で植生の分布密度と活性度を分析する場合は、近赤外データでNDVIという指標を使うことが結構多いと思いますが、ここで出てくるのはSentinel-1のXバンドの合成開口レーダのデータです。何故これ使おうと思ったかという、オフナディア角が大体30度強ぐらいでレーダを照射するので、樹木ですと横から当てるような状態になりますから、植生量を議論する上で、鉛直方向の植生の状態を評価するNDVIの情報と、植生の鉛直方向の情報を包含する合成開口レーダデータの値を組み合わせることができるのではないかと考えたからです。

インデックスとなるまでには、提案した指標値と植生量、粗度係数との相関関係を良く分析する必要があり、この点が今後の課題だと考えてます。現在そこまでの分析は進めておらず、面積に対して鉛直方向の情報を掛け合わせて強調した、一種の強調インデックスという考え方で進めているのがこの研究の着目点です。

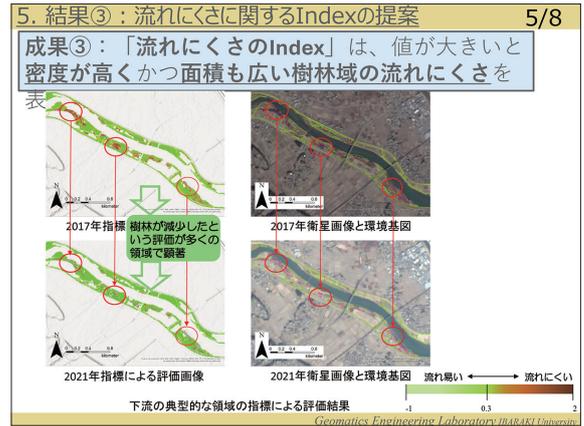
図は久慈川の上流、中流、下流です。上流は樹林域が多いですが、河川区域すなわち堤体から堤外地の範囲でも、樹木がたくさん繁茂しているところが散見されます。中流から下流域になると、だんだん河川区域、要は堤外地の面積が大きくなってきますので、サッカー場や野球場として利用されていたり、草地が結構広がっているところもあります。



こうした場所の植生量の違いを、全部歩いて見るのではなく、何か数字で探査することできないかというのを考えてみました。提案した指標は非常に単純なものでして、斜めから照射しているのの後方散乱強度が密度に関することを表しているのではないかと考え、植生活性度は従来のNDVIを採用しましたが、これは表面的な植生分布域を表していると考えられます。このため、この2つを掛け算して強調すると、樹林があるところは、もっと強調されて見えるのではないかと、という点に注目しました。データレンジを広く見てみたいという場合は、式に示す強調係数を変えていただければよいと思います。また流れやすさの指標は、単位面積当たりのことを考えればよいので、一応ピクセル数を入れはしましたがけれど、これは1にして、まずはセル・バイ・セルで計算をしました。

スライドに示す図が結果です。検討ケースがまだまだ足りませんし、もう少し多くの河川や時期などでの事例も必要なのかと思いますが、Google Earthの映像から樹林として判読できるエリアは、やはりインデックスを計算しても大きな値で表現されていることが分かります。

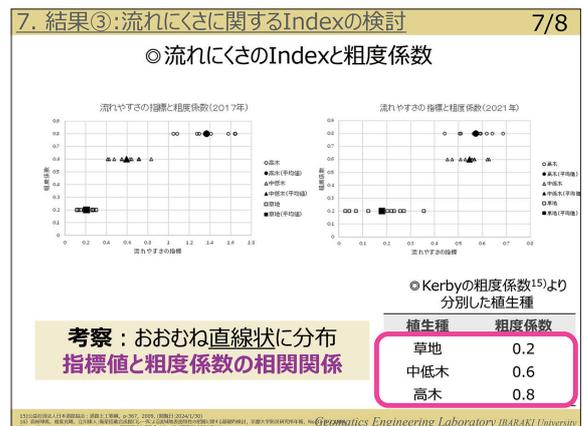
流れやすい、流れにくいという表現をしています、



計算の結果、いわゆる植生量が多くなっていることを示しているデータが求まったというのがこの結果になります。



表は上流域と中流域と下流域で評価値の平均値を求めてみたものですが、やはり上流域になると樹林地の評価値が大きく、樹木が多くの面積を占めていることが分かってきたという結果になります。



この指標と、従来から河川でよく使われている粗度係数との間にどの程度相関が取れているかということ、植生量との関係もしくは抵抗値との関係の分析では非常に重要なことなので、調べてみました。ここでは、粗度係数が3段階で非常にラフなデータなので、まだ

線形関係として良いとまでは断定できず、線は引いていませんが、今後、複数の植種毎に粗度係数を求め、線形的な関係があるかどうか研究できれば良いと思っています次第です。

Topics No.3 南太平洋島嶼国のリーフ上の計測



最後の3点目が南太平洋島嶼国のリーフ上の計測ということで、いよいよ海のお話になります。これは、マーシャルの写真ですが、環礁の島なので丸い輪、ドーナツ状の形をした島になっています。中心部の青い海はラグーンと呼ばれ波が非常に静穏でプールのような状態です。陸域の部分を見ますと、下の部分にちょっと砂のようなものが分布しているのをご覧頂けるでしょうか。この淡いピンクの砂のようなもの、これがいわゆる星の砂で、実は砂ではなくて有孔虫という虫の殻となつています。

1. 研究背景 1/13

**環礁州島**  
沈降する火山島の上にサンゴ礁が積み重なって形成される

(環礁州島形成までのチャールズ・ダーウィンによる沈降説)

Geomatcs Engineering Laboratory, Ibaraki University

南太平洋の島の多くは、昔はラグーンの中に火山があったと言われていて、その火山の大きな島の脇に裾礁がくっついています。海面が上がっていく時代には、サンゴは光合成のために光が欲しいので成長し、ある時代にプレートが動いて島が傾き、真ん中の島の部分が海水によって浸食されてなくなると、いよいよサンゴ

の部分のみが残り、これが現在島のコアとなっています。長い時間の中で、コアの上で何らかの現象が起き、有孔虫の殻やサンゴの化石が破碎されたものが堆積しました。こうして作られたのがこの環礁州島だと言われています。この成果は、サンゴ礁研究の先生による成果です。ここで、有孔虫の殻は非常に軽いものなので、海面上昇が起きて海水が上がって来ると、浮いて流れてしまうぐらいのものなのです。ですから南太平洋の島の人たちが何故温暖化にたいして非常に強い危機感を持っているのかということ、そのような性質のもので島が形成されていることを知っているからです。

2. 研究背景 2/13

予備調査での知見

- ✓リーフフラットは4領域に区分できる
- ✓有孔虫は粗いリーフフラットで特に水みちの近傍で藻類に付着して生息している
- ✓教師なし分類より地形特徴ごとに示すことができた

干潮前 干潮時

Geomatcs Engineering Laboratory, Ibaraki University

我々は、対象とした離島部に2回調査に行きました。有孔虫はどこにいるかというと、右側の干潮時の写真上部の光っている部分に藻類があり、有孔虫はそこに絡みついて生息しています。この状態を観測したいため、潮位予測のデータを基に最干潮時を狙ってこの離島で調査をしますので、計測時間に融通の利くドローンが有効となります。大潮の干潮時が最も波が引くタイミングなのですが、約1時間程度しか時間がありません。

3. 研究背景 3/13

予備調査での知見

- ✓リーフフラットは4領域に区分できる
- ✓有孔虫は粗いリーフフラットで特に水みちの近傍で藻類に付着して生息している
- ✓教師なし分類より地形特徴ごとに示すことができた

Geomatcs Engineering Laboratory, Ibaraki University

1回目の調査結果を基に予察をしてみました。離島の地形は、砂浜、リーフ、沖側にごつごつとしたサン

ゴの化石が散見されるリーフ、そして一番外側がリッジ（辺縁部）となります。ここはリーフ部より約1メートル程度地形が高くなっているため、波がここで砕けます。このため、定常的な波はここで砕波し海水が穏やかにリーフ部分に入ってきます。その結果、写真左側に見える離島のボディーの部分に砂が堆積します。

ただし、今後海面が上昇し、このリッジの部分を余裕をもって超えていくような海面の高さになってくると波が砕けるのがもっと島に近いところになり、そうなるこの砂浜に少し力の強い波が当たることもあるのかもしれませんが、そうすると、先ほどの有孔虫の殻が流出し、侵食が起きてしまうということになります。

このような現象が予想できますと、その対策を考える必要がありますので、先立って、ここにどれだけの有孔虫生産量があるのかを知ることが重要になります。そこで、先ほどの「水たまりの部分」の面積の推定が必要になります。

#### 4. 研究背景

4/13

予備調査での知見

- ✓リーフフラットは4領域に区分できる
- ✓有孔虫は粗いリーフフラットで特に水みちの近傍で藻類に付着して生息している
- ✓教師なし分類より地形特



Geomatics Engineering Laboratory, Ibaraki University

有孔虫は、実際は1ミリ程度の大きさですので、これをドローンや衛星で直接見ることは当然不可能です。このため、直接見るのではなく、有孔虫が付着している藻類を観測し、そこから有孔虫の生息量を推定してゆくことになります。その前に、写真中に示した赤矢印の起点部分に注目してください。リッジ部から島のボディーに向かって縦に線が入っているのがご覧になれるかと思います。最初に行った時、これが何なのか全然分からなかったのですが、歩いて近寄ってみると、中心に示す写真のようなクラックが入っており、リッジので砕けた波の海水が、水路的なクラックを通過して、島中心部に向けて穏やかに海水が入ってくるのが分かりました。ですので、この藻類にしがみついている小さな有孔虫でも、流されることはなく、生息することができるのだということが分かってきました。

#### 5. 使用機材・ソフトウェア

5/13

- Phantom4 Pro (UAV)
- 近赤外カメラ  
赤+緑+近赤外のバンドを持つ  
→NDVI (植生指標) が算出可能
- Agisoft Metashape Professional Edition (旧PhotoScan)  
複数の画像からオルソ画像 (正射変換したもの) やDEM (数値標高モデル) の構築が可能
- ENVI, ArcGIS, QGIS  
リモートセンシング用の画像解析ソフトウェア



Phantom4 Pro

Geomatics Engineering Laboratory, Ibaraki University

これは私共の使用したドローンです。この機器を持参して学生と一緒に現地の調査をしました。

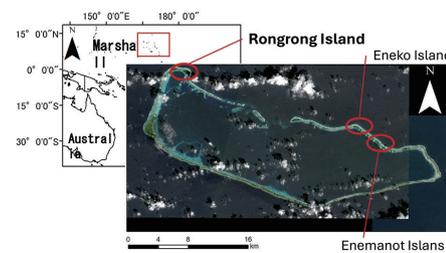
#### 6. 対象領域

6/13

マーシャル諸島共和国マジュロ環礁

予備調査 Eneko島 2018/9/10

本調査 Rongrong島 2019/12/13, Enemanot島 2019/12/14



Geomatics Engineering Laboratory, Ibaraki University

こちらの衛星画像にマーシャル諸島マジュロ環礁の全体を示します。グアムまで飛行機で飛んだ後に、飛行機で島を4つか5つ程度離着陸を繰り返すとマーシャルに到着します。グアム発ホノルル行きという飛行機でして、約7時間程度かかったかと思います。結構疲れる移動でした。

今日の有孔虫のお話は、この環礁州島全部に共通する話なのですが、島の様子は西側と東側でかなり異なります。写真一番左側（西側）に餃子のような形をした比較的大きな陸域があります。ここは1945年以前には日本が一生懸命ココヤシを栽培していたところです。一方、写真一番右側をご覧くださいと、何となく島の周りが明るく、ピンク色をしているかと思えます。ここはアメリカの開発によって都市化した地域です。冷凍施設や港の埠頭等が整備されていますので、皆さんがスーパーで見かける「南太平洋産マグロ」はもしかするとここで冷凍船を仲介して日本に来ているのかもしれませんが。西側の島では、昔のままカツオを食べたりココヤシの実で水分を取ったり、タロイモを食べたりという生活がなされています。これに対し、東

側の島にはコンビニや各種のレストランもあり、生活様式がかなり異なります。また、水道があったことには驚きました。空港がプールのような役目を果たしており、そこで蓄積された水を浄水し、島の集落に水道水として供給しているそうです。

7. 解析結果 ①オルソ画像の生成 7/13

解像度1.94cmのオルソ画像を生成

合計 302枚

Geomatics Engineering Laboratory, Ibaraki University

調査当日は風が強かったので、ジンバルを装着したカメラを使用しても手ぶれの影響が生じました。このため、小さく縮小して見る分にはそれなりに見えますが、拡大していくと随所でデータが欠落しており、Sfmを使用し処理をした時に、マッチング点が見いだせなくデータが欠落してしまったり、水面に光が当たって散乱が強い領域では全然マッチングしないという影響が生じました。そういう所では、レンズを工夫するとか、フィルタを装着するなどの工夫が必要になります。先程お話ししたレーダの使用もあり得るかと思いますが、やはり水があるという点ではどちらにしても厄介な環境です。

8. 解析結果 ②DEM 8/13

標高は砂浜側から外洋側に向かって緩やかに低下している

Geomatics Engineering Laboratory, Ibaraki University

何とかデータ処理をして地形データを作成してみました。グラフ中赤点は陸地側、青点が沖側を示します。グラフから分かるように、島からリーフのエッジに向けて、緩やかに傾斜があることが分かります。

9. 解析結果 ③開析度 9/13

外洋側で開析度が高い  
→リーフフラットが波によって砕けた水みち箇所

開析度 =  $1 - \frac{\text{mean}}{\text{max}}$   
Mean: 3×3pic平均値  
Max: 3×3pic最大値

水みち箇所

Geomatics Engineering Laboratory, Ibaraki University

そして、こちらの画像はDSMから計算した開析度です。単位面積内の最大高度値を侵食がない面と仮定し、高度の最大値から平均高度がどの程度の率で低くなっているのか、という指標が開析度です。この指標でリーフを参照すると、前出の水道(みずみち)の部分がはっきりとデータとして表れていることが分かります。

10. 解析結果 ④NDVI 10/13

植生指標:  
砂浜側 高い  
沖側 低い

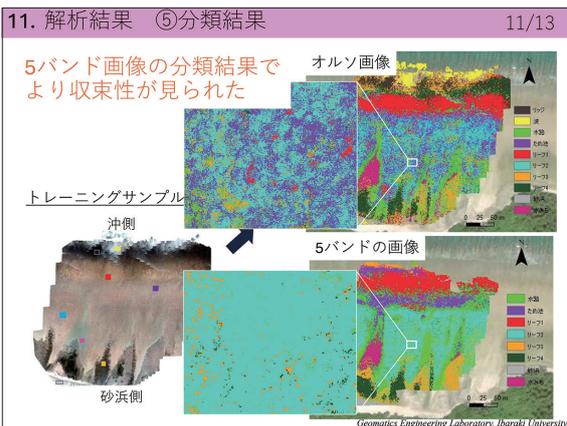
$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$   
NIR: 近赤外バンド  
Red: 可視光赤バンド  
(値は-1~+1を示す)

砂浜側

Geomatics Engineering Laboratory, Ibaraki University

今回の実験では、近赤外カメラを用いた撮影も行いました。デフォルトで搭載されているカメラは、高度50mから地上解像度が1~2センチで撮影することが可能ですが、撮影波長はRGBに限定されます。アディショナルなカメラは解像度は下がるものの、近赤外波長の画像を取得することができますので、その画像を用いることによってNDVIを計算することができます。

最終的に、地形データ(開析度)およびNDVIの2つの画像をRGBから構成される3フレームのカラー画像に加えて、全部で5次元のデータを用いて分類図を作成してみました。結果、リーフ上に水がたまっている地点ですとか、ため池状になっている部分を取り出すことができ、この後ノイズ除去等は必要となりますが、より取束性のある分類結果となりました。この映像の撮影は2019年12月に行ったのですが、帰国後にだん



だんコロナが蔓延してきてしまい、また資金上の期限もあり現在、研究はここで止まっています。また機会がありましたら現地調査を行い、離島単位でも良いので有虫の推定量を求めてみたいと思っています。

### まとめ

- ◎地域でのCO<sub>2</sub>環境の可視化
  - 都市内のセンシング WiFi 通信費用、接続の頑健性、共有、頑強性
    - データに座標とTimeStamp
- ◎合成開口レーダデータを用いた植生量の評価指標提案の試み
  - 環境情報の更新性 産業従事者減少への対応、即時性と正確さ/精緻
    - 環境変化が災害に与える重要性に着目した即時性
- ◎南太平洋島嶼国のリーフ上の計測
  - データ観測体制の強化が進んでおり、将来の観測環境に期待！
  - 人材育成（建設関連分野におけるDX人材の育成に注目したい）

Geomatics Engineering Laboratory, Ibaraki University

あと4分になりましたので、そろそろまとめさせて頂きたいと思います。今日は海と川と緑という、3つの観点でお話をさせていただきましたが、1点目は地域でのCO<sub>2</sub>環境の可視化というテーマでした。2.4ギガのWi-Fiを使うと大抵のことはできるという感じですが、計測点を増やすと通信費用は意外とばかになりません。それと先ほどお話した接続の頑健性やデータ共有がどこまでできるのかというような点もクリアできるような方法を今後考えていかなければならないと思っています。その上でデータに座標を付与して、タイムスタ

ンプを明らかにした上でマッピングしていくことを、今後の研究課題にしてみたいと思っています。

2点目は合成開口レーダを使った植生量の評価指標の試みです。皆さんご存じのとおり今後、建設関連分野の産業従事者数が激減していくなかで、いわゆる「i-Construction」が始まり、建設DXが叫ばれるようになりました。そうなると、調査にどれだけ従事者数を減らせるかということと、でも即時性や正確さは追求したいということのせめぎ合いになってくるかと思っています。こうしたことを念頭に置いた上で、先ほどの評価指標と実際の物理量との関係を定式化していくことを試みたいと考えています。

最後、3点目の南太平洋のリーフ上の計測については、小型衛星にも合成開口レーダが搭載されるようになり、コンステレーションによるデータの観測体制の強化も進んでいる中で、これらの観測データの活用の可能性は、今後どのようなサービス形態で観測データが提供されるのかに寄るとしており、環境の観測の将来に期待したいと思います。

この3点を総合しますと、今日お話したようなことを学校で勉強し、体験した「建設関連分野におけるDX人材」と言えるような人材を育成し、その後、社会の先輩の皆さまにご指導いただけるような若者を送り出して行きたいと考えております。どうもありがとうございました。（拍手）



本稿は2025年8月1日に開催された、当協会主催「第47回測量調査技術発表会」における、桑原 祐史氏の特別講演の内容をまとめたものです。