

テラヘルツ全反射減衰分光法を用いた角質層水分量計測のための基礎研究

Fundamental Research of Water Content Measurement in the Stratum Corneum by Terahertz Attenuated Total Reflection Spectroscopy

Key words: Terahertz Spectroscopy, Attenuated Total Reflection, Stratum Corneum

生物センシング工学分野 赤宗 行三

1. 背景

皮膚は外界と接する器官であり、動物の生命維持に必要な不可欠な機能を数多く有している。このような皮膚の機能は、皮膚の最外殻層である角質層の水分含有量と関係があると考えられており、角質層の水分量測定は皮膚生理学的観点から重要であるといえる。従来から水分量測定は、電気的特性を利用した方法が提案、実用されているが、電解質の影響を受けやすく高精度化が困難であった。光学的手法として共焦点ラマン分光法を用いる方法が提案されているが、皮膚表面状態や付着物の影響を受けるという問題がある。

テラヘルツ (THz) 波とは、周波数 $10^{11}\sim 10^{13}$ Hz (波長 $3000\sim 30\ \mu\text{m}$) で定義される電磁波で、水に対する大きな吸収を有する一方で、表皮細胞や角質層に含まれる油脂や生体高分子による吸収は小さく、THz 分光法を用いることで水を高感度に測定することができる期待される。しかしながら水による大きな吸収のため通常の透過配置による測定は難しく、水による吸収を抑えつつ高精度に測定する方法が必要とされる。全反射減衰法 (ATR 法) とは、入射波がプリズム表面で全反射される際に生じるエバネッセント波によりプリズム上試料を測定する方法であり、THz 帯で水のような吸収の大きな試料を高精度に測定できる方法とされている。プリズム表面のエバネッセント波の浸みだし深さは THz 帯では数十 μm 程度と見積もられ、同程度の厚みを持つ角質層の測定に適していると考えられる。そこで本研究では、THz-ATR 法の角質層水分量測定への有用性を示すべく、ブタ皮膚を測定し、角質層の質量含水率を推定した。

2. 実験概要と結果

2.1 質量含水率と THz 帯の吸収の関係

まず、THz-ATR 法を用いて、水を高精度に測定できることを確かめるために質量含水率 58.5~100% のスクロース水溶液の吸収係数を測定した。以降、測定には、THz 分光装置 TAS7500 (ADVANTEST 社製) を用いた。加えて、角質層の質量含水率を測定する

ための検量線を作成する目的で、皮膚真皮より採集した間質成分 (Hide powder non-chromated, SIGMA 社製) を用いて角質層モデルを作成し、角質層モデルに蒸留水を滴下し、含水率を変化させて吸収係数を測定した。

図 1 に 0.5 THz における質量含水率と吸収係数の関係を示した。スクロース水溶液の質量含水率と吸収係数の間には強い相関がみられ ($R^2=0.996$)、THz-ATR 法を用いて水分を定量できる可能性が示された。一方、角質層モデルの質量含水率と吸収係数の間にも相関性が認められた ($R^2=0.888$)。しかし、その相関性はスクロース水溶液よりも低く、検量線の傾きも大きく測定された。これは角質層モデルの表面と内部の水分分布の違いや角質層モデルに含まれる空気が原因であると考えられる。つまり、角質層モデルの内部に比べて表面が乾燥していればその分だけ、空隙が存在すればその分だけ実際の質量含水率に比べて吸収係数は小さく測定されてしまうためスクロース水溶液に比べて、相関性が低く、検量線の傾きも大きく測定されたものと考えられる。

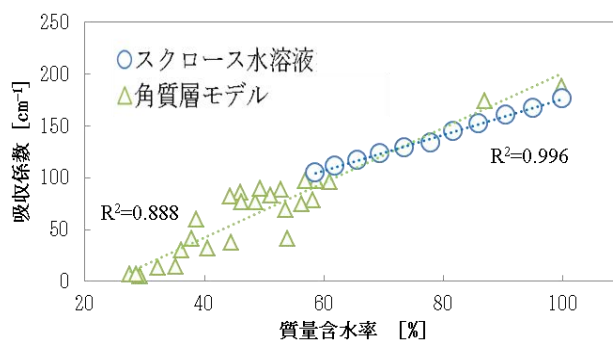


図 1 質量含水率と吸収係数の関係

2.2 テープストリッピングに伴う吸収の変化

ブタの皮膚角質層には水分勾配があり、表面からの距離に応じて多くの水分を有している。そこで実際のブタの皮膚に対しテープストリッピング法を用いて角質層を除去しつつ測定を行うことで角質層内の水分勾配を THz 帯の吸収係数から推定した。さらに本章第 1 節で得られた検量線に代入することで質量含水率を推定した。サンプルには凍結保存されたユカタンミニブタの皮膚を用い、角質層の水分量を

変化させるために、解凍直後 (Group I, n=5)、解凍後 24 時間室温下で乾燥させたもの (Group II, n=2) に分けた。ブタ皮膚は角質層側をプリズムに密着させて測定を行った。

図 2 に 0.5 THz における結果を示す。ストリッピングの回数に伴いブタ皮膚の吸収係数も増加し、本章第 1 節で求めた検量線に代入すると Group I で 59.9%から 64.2%, Group II で 55.9%から 62.9%へと質量含水率が増加する様子が確認され、ストリッピングに伴い水分量が多く測定された先行研究¹⁾と同様の傾向が示された。吸収係数は Group II の方が小さく測定されており、24 時間乾燥させたことによる水分が減少したと考えられる。さらにこの吸収係数の差は特にストリッピング回数が少ないときに顕著であった。ストリッピング回数が 25 回のときブタ皮膚の角質層はほとんど除去され、測定範囲の大部分は細胞層で占められていると考えられる。このときの双方の吸収係数の差が小さいことから吸収係数の違いは主に角質層で生じていると考えられ、THz-ATR 法による測定結果はエバネッセント波近傍の皮膚角質層の水分量を強く反映していると考えられた。

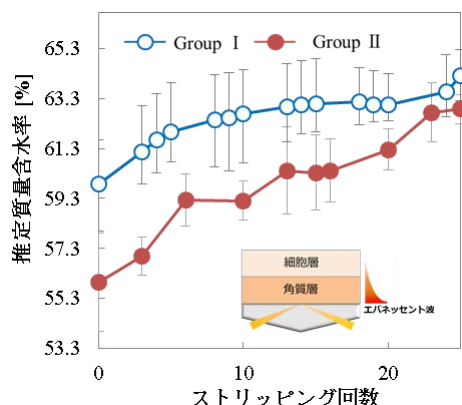


図2 ストリッピングに伴う吸収係数と質量含水率の変化

2.3 二界面モデルによる解析

プリズム表面のエバネッセント波の浸みだし深さは周波数に反比例し、低周波数側では浸みだしは大きくなる。このときエバネッセント波の浸みだしは角質層の厚みよりも大きくなり、測定結果は角質層より下層の細胞層の情報を含んでいると考えられる。角質層と細胞層は全く性質の異なる層であるため、界面には群屈折率不連続面が存在し、反射界面が成立すると考えられる。このとき、二界面モデル²⁾を用いた解析を行うことで、エバネッセント波の浸みだし深さよりも厚みの薄い角質層のみの情報を解析的に計算できると期待される。そこで第 2 節で測定したブタ皮膚の測定結果に二界面モデルを用いた解析を施し、角質層のみの情報の取得を試みた。解析時に必要なパラメータである入射角は 57° 、角質層の厚みは $30 \mu\text{m}$ 、細胞層の複素屈折率はストリッピ

ングを 25 回行ったときのブタ皮膚の複素屈折率として解析を行った。

図 3 に二界面モデルを用いた解析結果を示す。解析結果は、解析前のものと比較して吸収係数は小さく計算された。角質層よりも下層の細胞層は角質層と比べて多くの水分を有しており、二界面モデルによってより多くの水分を有する細胞層による寄与を排除することができたため、吸収係数が小さく計算されたと考えられる。Group I、Group II ともに吸収係数は解析前同様にストリッピングに伴い増加し、第 1 節で求めた検量線に代入すると Group I で 57.6%から 64.3%, Group II で 53.7%から 62.9%へと質量含水率が増加する様子が見られ、先行研究¹⁾と同様の傾向を示した。本解析によって細胞層による寄与を排除し、角質層のみの情報を取得することができたと推測されるため、ストリッピングに伴う水分量の変化が角質層で生じたものであることが確認された。

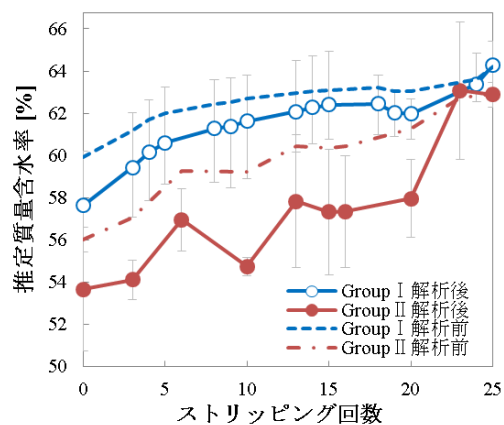


図3 二界面モデルを用いた解析結果

3. まとめ

角質層モデルを用いて、改善の余地は見られるものの質量含水率と吸収係数の検量線を作成した。ブタ皮膚の測定では、テープストリッピングと乾燥に伴うブタ皮膚の吸収係数の変化が確認され、検量線に代入することでブタ皮膚の質量含水率の変化を推定した。さらに二界面モデルを用いて解析を行うことで細胞層の寄与を排除し、角質層のみの吸収係数を解析的に取得することが可能であると示唆され、THz-ATR 法を用いて角質層の水分量を計測できる可能性が示された。

参考文献

- 1) Hachiro Tagami, Masatoshi Ohi, Keiji Iwatsuki, Yuko Kanamaru, Mizuho Yamada and Bunjiro Ichijo (1990): Evaluation of the Skin Surface Hydration in Vivo by Electrical Measurement, The Journal of Investigative Dermatology, **75**(6), 500-507.
- 2) Keiichiro Shiraga, Yuichi Ogawa, Tetsuhito Suzuki, Naoshi Kondo, Akiyoshi Irisawa and Motoki Imamura (2013): Determination of the complex dielectric constant of an epithelial cell monolayer in the terahertz region, Applied Physics Letters, **12**(5), 053702-1 - 053702-4.

葉脈画像による植物種同定*

Plant Species Identification using Images of Leaf Veins*

Key words: 画像処理, 葉脈, OpenCV

フィールドロボティクス分野 芦田 萌子

1. 諸言

本研究は、「テラグリーンネットワーク」プロジェクト（以下、TGN と表記）に属す。このプロジェクトの目的は、世界中の植生マップを作成することであり、立命館大学の Park 氏を中心に運営している。TGN の手法は以下の通りである。まず、参加者は樹木の葉を、スマートフォンで撮影する。そして撮影画像及びGPS情報をTGNのサーバーへと送信する。サーバーでは、植物種の自動識別システムを用いて画像を解析し、植物の種類を判別する。その後、判別情報を参加者の元へ送信すると共に、情報を蓄積し、植生マップを作成する。自動識別システムでは、まず葉の形状からおおよその分類を行い、その後葉脈の解析によって詳細な種類分けを行う。本研究は、葉脈情報を用いた分析手法の開発を目的としている。

2. 提案手法

先行研究から、以下の2点を満たす新たなパターン認識の手法が必要であることが分かった。
(1)不安定なセンシング条件下でも判別可能：
本プロジェクトでの撮影は、屋外で太陽光を光源として行うことを目的とする為、変動条件の多い不安定な状況下でも用いられる方法であること。
(2)局所領域に注目：
屋外での撮影では、葉が立体構造をしているために全ての葉脈を網羅的に撮影するのは困難である。従って、局所領域のみの撮影画像から植物種を識別できる方法であること。
これらを踏まえて、本研究では局所領域として、一次側脈以上の葉脈に着目し、一次側脈以降の情報を得る方法として約0.1cm四方の局所領域を用いる。また、屋外における照明の変動に頑健な特徴量であるHOG (Histogram of Oriented Gradient) 特徴量¹⁾を用い、サポートベクトルマシンでの分類によって植物種を同定する。

3. 実験材料及び方法

3.1 実験材料

2013年7月21日22日に京都大学北部キャンパス構内で、40種78本の樹木から各10枚の葉を採取した。採取後、洗浄をし、密閉袋に入れて冷蔵庫(3.5℃)で保管した。また、本研究ではシダ植物のような完全に分離している種や針葉樹については対象外とし、採取を行わなかった。葉の採取後、1週間以内にスキャナ(EPSON社製GT-X970)を用いて葉の表面を800dpiでスキャンした。

*農業食料工学会関西支部報第116号に一部掲載

3.2 用いる植物種

本研究では、葉の形状だけでは分類が最も困難であると考えられる楕円全縁の種類の葉のうち11種を用いる(表1)。1枚の原画像から80枚の32×32ピクセル画像を切り出し、サンプル画像及びテスト画像とした。

表1 用いた植物種

	Order	Family	Genus	Species
A	Rosales	Rosaceae	Photinia	serratifolia
B	Lamiales	Oleaceae	Fraxinus	griffithii
C	Lamiales	Oleaceae	Osmanthus	fragrans
D	Fabales	Fabaceae	Styphnolobium	japonicum
E	Fagales	Fagaceae	Quercus	myrsinaefolia
F	Apiales	Pittosporaceae	Pittosporum	tobira
G	Aquifoliales	Aquifoliaceae	Ilex	integra
H	Cornales	Cornaceae	Cornus	florida
I	Sapindales	Meliaceae	Toona	sinensis
J	Fabales	Fabaceae	Robinia	pseudoacacia
K	Laurales	Lauraceae	Cinnamomum	camphora

3.3 パラメータ及び識別機

HOG特徴量はブロックサイズを2×2セル、セルサイズを8×8ピクセル、bin数を9と設定した。したがって144次元となる。AからKまでの11種類について各800枚のサンプル画像を準備し、2割をテスト画像、8割を学習画像としてランダムに分割した。その後、種類ごとに識別器を構築した。それぞれの識別器に対してテスト画像を適用し、どの識別器で検出されるかについて評価する。学習した種類に対応する画像を検出した枚数をCorrect、それ以外の検出結果をIncorrectとしてカウントし、式(1)の方法で識別結果を評価した。構築した識別器をXとし、識別器に適用するテスト画像をX(k)と表記する。

$$Precision(識別率) = \frac{Correct}{Correct + Incorrect} \times 100 \quad (1)$$

4. 実験結果

4.1 多クラス分類

本研究では11種類の植物の葉脈画像に対して、ガウシアンカーネル、多項式カーネル、線形カーネル、シグモイドカーネルを用いて1対他方式の多クラス分類を行った。識別の結果、ガウシアンカーネルを用いた場合の識別率が54.9%と最も高く、次いで多項式カーネルで53.4%、シグモイドカーネルで43.6%、線形カーネルで42.4%となった。ガウシア

ンカーネルの識別結果を表 2 に示す。

また、表 3 にガウシアンカーネルにおける結果を用いた累積識別率を示す。表中の RANK とは識別する種の候補の数である。RANK3 ならば第 1 候補から第 3 候補までを評価対象とした時の累積識別率を表している。

第 3 候補までを評価対象とすると 77.9% まで向上する。A, F, G 以外の種は RANK1 での識別率は約 40% であったが、RANK3 では 60% を超える結果となった。これは、主に特定の 2~3 種のうちで誤認識をしていることが多いからだと考えられる。

また、本研究で用いた SVM は、テスト画像と学習画像の分類をランダムで行っているため、画像の選び方によって識別率が変化することが推測される。そこで 4 種類のカーネルについてそれぞれ 3 回実験を行った。実験の結果、すべてのカーネルにおいて標準偏差が 0 となり、構築した識別器は汎用性が高いことが証明された。

表 2 識別結果 (ガウシアンカーネル)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	計	Precision
A(k)	142	7	10	0	0	2	1	6	0	0	0	168	84.5
B(k)	8	76	13	5	7	3	0	20	13	3	9	157	48.4
C(k)	18	21	61	4	3	13	2	27	1	1	7	158	38.6
D(k)	0	6	3	76	18	3	0	4	27	14	12	163	46.6
E(k)	0	9	1	19	78	0	0	3	16	20	21	167	46.7
F(k)	2	2	4	5	0	153	0	9	0	0	0	175	87.4
G(k)	2	0	0	0	0	0	144	0	0	0	0	146	98.6
H(k)	2	19	19	9	4	18	0	80	1	0	5	157	51.0
I(k)	1	9	2	21	12	2	0	1	79	32	10	169	46.7
J(k)	0	8	0	23	14	0	0	1	37	52	26	161	32.3
K(k)	0	12	1	19	25	0	0	7	16	27	32	139	23.0
Total													54.9

表 3 累積識別率 (ガウシアンカーネル)

	A(k)	B(k)	C(k)	D(k)	E(k)	F(k)	G(k)	H(k)	I(k)	J(k)	K(k)	Total
RANK1	84.5	48.4	38.6	46.6	46.7	87.4	98.6	51.0	46.7	32.3	23.0	54.9
RANK2	90.5	61.1	55.7	63.2	59.3	90.3	100.0	63.1	65.7	55.3	42.4	67.9
RANK3	94.6	69.4	69.0	74.2	71.3	93.1	100.0	75.2	78.1	71.4	60.4	77.9

4.2 階層的クラスタ分析

クラスタ分析とは、対象間の距離の近さによって対象を分類する統計手法である。本研究ではユークリッド距離を用い、クラスタ間の距離の扱い方としては、群平均法を用いた。

上記の 11 種について階層的クラスタ分析を行った結果、図 1 となった。height はクラスタを形成する際の、樹形図の枝の長さ(高さ)を表す。height が 100 の高さで枝を切ると、5 クラスタに分けられ、左から I~V とする。全体における識別率の向上には、IV・V に属する種について、同じクラスタに属する他の種と識別することが必要である。

4.3 3 クラス分類

前節の結果から、以下の 2 点を満たす 9 種 3 セット ((B, C, H)(E, J, K)(D, I, J)) について再度 3 クラス分類を行い、識別率の向上を目指した。結果を表 4 に示す。最終識別率は全体で 13% 向上し、7 種で 60% を超える結果となった。

- (1) ガウシアンカーネルにおける多クラス識別結果 (RANK1) において、識別率が 60% 以下。
- (2) 表 2 において、最も誤認識をした種、または誤認識した数が正しく認識した数の半分以上である種が、同じクラスターに属す。

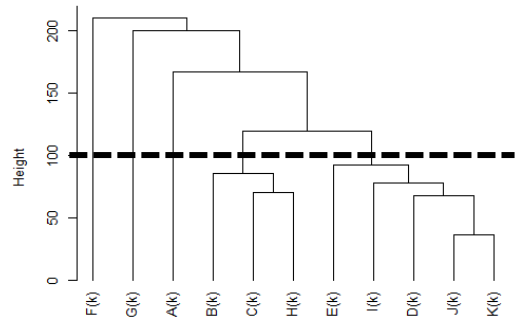


図 1 階層的クラスタ分析

表 4 最終識別率

	A(k)	B(k)	C(k)	D(k)	E(k)	F(k)	G(k)	H(k)	I(k)	J(k)	K(k)	Total
最終識別率	84.5	61.2	54.7	75.0	53.2	87.4	98.6	67.3	60.6	57.0	47.8	67.9
増減 (%)	-	12.8	16.1	28.4	6.5	-	-	16.4	13.9	21.8	24.8	13

5. 考察

多クラス分類を行った場合、RANK3 までの累積識別率をみると、8 種で 70% を超えることから、形状情報だけでは困難な識別が葉脈情報によって可能になったといえる。また、A, F, G に関しては多クラス分類でも識別率が 80% を超え、十分に識別が可能な種も存在することが分かった。

本研究では 32×32 ピクセルの局所領域に着目した。しかし互いに誤認識が多い種どうしは二次側脈以上の情報が似通っているものが多く、局所領域に限った情報だけでは不十分である。

また、本研究では HOG 特徴量を用いた。HOG 特徴量がエッジの抽出に優れるため、葉脈をエッジとしてとらえ、特徴量としてうまく抽出できるかと考えていたが、HOG 特徴では多くのピクセルを含んだブロックごとに正規化をする為、解像度が下がり、不鮮明な画像になってしまう。解像度が 800dpi の元画像における 32×32 ピクセル領域では葉脈が鮮明ではなく、さらに HOG 特徴量をかけて不鮮明な画像になることを考慮すると、エッジとしてうまくとらえられた部分は少なかったのではないかと考えられる。解像度を大きくするのは、処理に時間がかかることや将来的に屋外でのスマートフォン画像での識別を目指すことからあまりふさわしくないため、特徴量をとる領域やとり方について再考する必要がある。さらに、本研究では採取した種のうち 11 種の識別を行ったが、種を増やして考える必要がある。

6. 参考文献

- 1) N. Dalal, B. Triggs: "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection", *CVPR 2005*, pp. 886-893, 2005

テラヘルツ波全反射減衰測定法による定性分析のための クラマース・クローニッヒ変換の適用*

Application of Kramers-Kronig Transformation for Qualitative Analysis Using Attenuated Total Reflection Terahertz Spectroscopy*

Key words: Kramers-Kronig transformation, Terahertz spectroscopy, Qualitative analysis

生物センシング工学研究室 足立 絢

1. 緒言

近年、電磁周波数 0.1~10 THz のテラヘルツ(THz)帯における分光応用が検討されている。その分光法の一つであるテラヘルツ時間領域分光法(THz-TDS)は、試料に THz パルス波を使うことで試料による電場強度の減衰と時間遅延の情報を同時に取得できる。そのため複素屈折率の実部と虚部を直接的に決定でき、吸収だけで評価するよりも詳細な物性評価に用いられている。一方フーリエ変換分光法(FTS)では電場強度のみを測定するため、一般に FTS による分光情報は吸収を利用するに留まっているが、THz 帯の FTS は THz-TDS よりもロバストかつ広い周波数領域の測定が可能であることから、農産物や食品などの評価に適していると考えられる。FTS を用いて得た吸収や反射スペクトルから複素屈折率を導出する方法の一つにクラマース・クローニッヒ(KK)変換があるが、計算上測定領域の高周波端における物性値を要するなど産業利用には課題がある。しかし本手法を用いることで、複素屈折率の屈折率と消衰係数を分けて導出でき、分光スペクトルの持つ情報を増やすことができる。そこで本研究は KK 変換を用いたスペクトル解析手法を導入し、FTS により測定した類似の吸収スペクトルを持つ 2 種類の糖水溶液のスペクトルに対し、本手法の定性分析への有効性を明らかにする。

2. クラマース・クローニッヒ変換

KK 変換は、波数 ν に関する複素関数 $\hat{f}(\nu) = f_R(\nu) + if_I(\nu)$ の実部から虚部、または虚部から実部を次の関係から導出する変換式である¹⁾。ただし P はコーシーの積分主値である。

$$f_R(\nu_a) = \frac{2}{\pi} P \int_0^{\infty} \frac{\nu f_I(\nu)}{\nu^2 - \nu_a^2} d\nu \quad (1)$$

$$f_I(\nu_a) = \frac{-2\nu_a}{\pi} P \int_0^{\infty} \frac{f_R(\nu)}{\nu^2 - \nu_a^2} d\nu \quad (2)$$

本研究では全反射減衰測定(ATR)法を用いて減衰全反射率 $R(\nu)$ を測定するため、式(3)に示す複素反射係数 $\tilde{r}(\nu)$ を用いて減衰全反射率 $R(\nu)$ から位相差 $\theta(\nu)$ への KK 変換を行い、式(4)との連立式から複素屈折率 $\tilde{n}(\nu) = n(\nu) + i\kappa(\nu)$ を得る。ただし β_0 は入射角、 n_0 はプリズムの屈折率であり、 $n(\nu)$ は屈折率、 $\kappa(\nu)$ は

消衰係数を表す。

$$\tilde{r}(\nu) = \sqrt{R(\nu)} e^{i\theta(\nu)} \quad (3)$$

$$\tilde{r}(\nu) = \frac{\tilde{n}(\nu) \sqrt{1 - \left(\frac{n_0}{\tilde{n}(\nu)}\right)^2 \sin^2 \beta_0} - n_0 \cos \beta_0}{\tilde{n}(\nu) \sqrt{1 - \left(\frac{n_0}{\tilde{n}(\nu)}\right)^2 \sin^2 \beta_0} + n_0 \cos \beta_0} \quad (4)$$

位相差 $\theta(\nu)$ の導出は Bertie と Lan¹⁾ による KK 変換に倣い、その導出過程を式(5)~(7)に示す。位相差 $\theta(\nu)$ は s 偏光の減衰全反射率 $R_s(\nu)$ の波数 0 から ν_u までの積分項 $\theta'(\nu_a)$ と、 ν_u における屈折率 $n(\nu_u)$ から導出される補正項 $\theta_0(\nu_u)$ で求められる。ただし $R_s(\nu)$ は $\beta_0 = 45^\circ$ のとき式(8)より導出される。

$$\theta(\nu) = \theta'(\nu) - \theta'(\nu_u) + \theta_0(\nu_u) \quad (5)$$

$$\theta'(\nu_a) = -\frac{2}{\pi} P \int_0^{\nu_u} \frac{\nu [\ln R_s(\nu)]^{1/2}}{\nu^2 - \nu_a^2} d\nu \quad (6)$$

$$\theta_0(\nu_u) = \pi - 2 \arctan \frac{\sqrt{n_0^2 \sin^2 \beta_0 + n(\nu_u)^2}}{n_0 \cos \beta_0} \quad (7)$$

$$R_s(\nu) = \frac{1}{2} \sqrt{1 + 8R(\nu)} - \frac{1}{2} \quad (8)$$

3. 実験方法および装置

本実験では蒸留水とグルコース水溶液およびフルクトース水溶液(0.292~1.462 M)を試料とし、フーリエ変換分光器としてサブミリ波専用分光光度計(FARIS-1S, 日本分光社製)を用いて 2~13 THz の減衰全反射率を測定した。ATR プリズムの材質はシリコン($n_0 = 3.42$)、入射角は 45° である。試料及びプリズム温度は 27°C に保ち、水蒸気による吸収の影響を抑えるため装置内を減圧して、周波数分解能 120 GHz、積算回数 300 回で空気を用いたリファレンス測定とサンプル測定を 5 回ずつ行った。それぞれの電場強度の平均値を I_{REF} および I_{SAM} とすると、 $R = I_{SAM}/I_{REF}$ より減衰全反射率が求められる。各試料の複素屈折率を導出するため、減衰全反射率に対して前述の KK 変換を用いて解析を行うが、本研究において、KK 変換を行う際に代入する高周波屈折率 $n(\nu_u)$ は、蒸留水については導出する複素屈折率が文献値²⁾と最も近くなる値に決定し、糖水溶液の各濃度の高周波屈折率も蒸留水と同じ値を用いて近似することとした。

4. 実験結果および考察

*農業食料工学会関西支部報第 116 号に
一部掲載

各試料の減衰全反射率を図1に示す. 比較のため, 両水溶液に蒸留水の減衰全反射率を載せた. グルコース水溶液とフルクトース水溶液はいずれも類似したスペクトルとなり, 水分子の体積分率の減少に伴う反射率の増加が確認された.

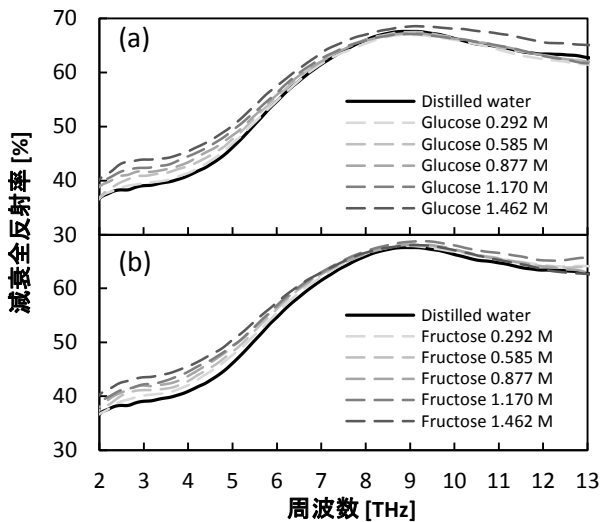


図1 (a) グルコース水溶液と (b) フルクトース水溶液の減衰全反射率

KK 変換を用いて導出した蒸留水の複素屈折率を図2に示し, 文献値²⁾と比較した. 本解析法では消衰係数において低周波側で高い値が見積もられたのを除き, 似た傾向が確認された.

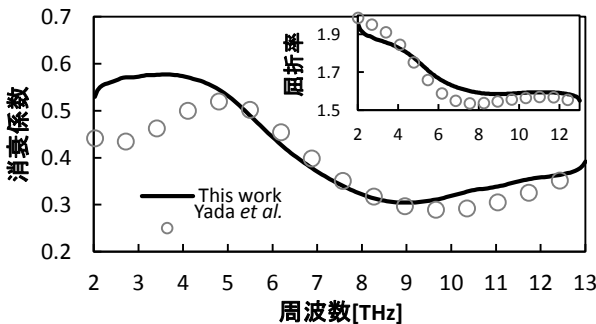


図2 蒸留水の複素屈折率

図3に本解析手法で導出したグルコース水溶液とフルクトース水溶液の複素屈折率を示す. 2つの糖水溶液の識別可能性を評価するために, 減衰全反射率, 屈折率, 消衰係数について, 各濃度のグルコース水溶液とフルクトース水溶液間の差を式(8)に示す標準化ユークリッド距離 d で評価し, 結果を表1に示す.

$$d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p (\bar{x}_i^{(1)} - \bar{x}_i^{(2)})^2}{s_i^2}} \quad (8)$$

ただし, $\bar{x}_i^{(1)}$ および $\bar{x}_i^{(2)}$ はグルコース水溶液およびフルクトース水溶液のスペクトルの i 個目 ($1 \leq i \leq p$) の周波数点における平均の値, s_i は標準偏差である. 表1に示すように, ATR法による測定値の減衰全反射率よりも KK 変換を用いて導出した屈折率の方がスペクトル間に大きな差を生じた.

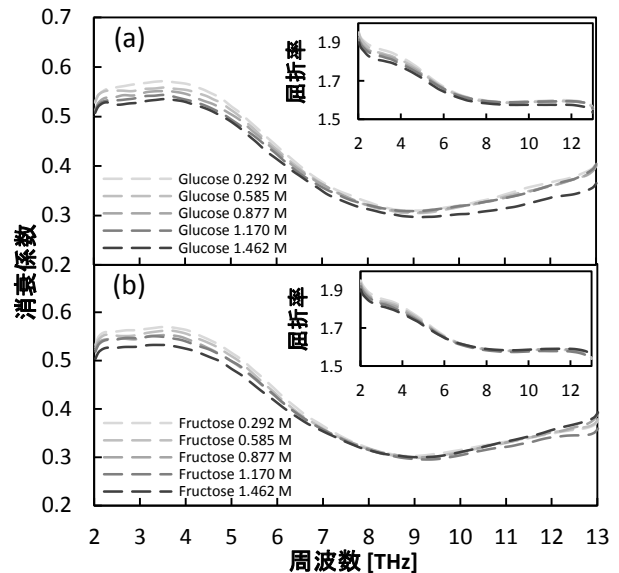


図3 減衰全反射率から導出した (a) グルコース水溶液と (b) フルクトース水溶液の複素屈折率

表1 各スペクトルの標準化ユークリッド距離 (d)

濃度	0.292 M	0.585 M	0.877 M	1.170 M	1.462 M
減衰全反射率	303.5	261.2	265.5	250.0	199.5
屈折率	326.8	287.1	274.7	295.3	243.9
消衰係数	261.6	242.7	247.3	248.5	205.0

5. 結言

THz 帯では水分子の回転緩和や分子間振動に由来するブロードな吸収が支配的であり, 水を多く含む試料のスペクトルは類似した概形となるため, 異なる試料の判別は困難である. 本研究では THz 帯の分光利用を展開するための解析技術の確立を目指し, KK 変換を用いた解析手法を提案し, 導出した複素屈折率の定性分析への有効性を確かめた. 本解析手法では, 低周波側における吸収の増大や, 高周波端における屈折率の水による近似のため, 物性値からの誤差は生じていると考えられる. しかし, 減衰全反射率で比較するよりも KK 変換を用いた解析を行うことで類似したスペクトルの差が拡大したことから, 本手法が定性分析に対して有効である可能性が示された.

参考文献

- 1) J. E. Bertie and Z. Lan (1996) : An accurate modified Kramers-Kronig transformation from reflectance to phase shift on attenuated total reflection, *J. Chem. Phys.*, **105**(19), 8502-8514.
- 2) H.Yada, M. Nagai and K. Tanaka (2008) : Origin of the fast relaxation component of water and heavy water revealed by terahertz time-domain attenuated total reflection spectroscopy, *Chem. Phys. Lett.*, **464**(4-6), 166-170.

卒論要旨

大気中の化学物質の拡散に関する研究レビュー

Research Review on the atmospheric diffusion of chemical substances

Key Words: PM, aerosol, drift

水環境工学分野 足達 大輔

1. はじめに

大気中の化学物質の拡散に関して、近年行われた研究をレビューして、成果を整理してまとめた。研究対象地域について見ると、近年大気汚染が大きな問題となっている中国は、対象地域として頻繁に現れた。他に、ヨーロッパ、アメリカ、アフリカ、日本などが主な対象地域であり、また、それらの地域間を季節風などで汚染物質が移動することに関する研究テーマも数多く見られた。

2. レビュー方法

大気中の化学物質の拡散についてレビューするために、web of science を用いて、テーマに合致する論文を探した。Chemi* wind agri*で目的に合致したものが49件、Pesticide atmospher* disper* human health, Chemi* atmospher* disper* human health から6件あったが、そのうち4件はpdfが得られなかったために最終的に51件が目的の論文としてpdfが得られた。卒論で行ったレビューではこの51件の論文を読み、内容を分類することでレビューを行った。

3. 考察とまとめ

近年の大気中の化学物質の拡散に関する研究をレビューしたことから以下のことが言える。放出・輸送・沈着の全体を通して指摘できる点として、大気汚染は必ずしもその問題が起こっている場所が原因となっ

ているとは限らず、農業・工業などを行う上で他の地域への影響を考慮することが必要であると考えられる。その際に降雨・風向・風速といった気象条件、季節風などの季節的な変動のデータも分析の対象とする必要がある。また、汚染源からの放出を抑制することを目的とした研究も行われているので、それを考慮にいたした行政的な指導も検討する必要があると考えられる。例えば、中国で発生した硫黄酸化物が偏西風によって日本に運ばれ、大気汚染や酸性雨の原因となることが懸念されていることが挙げられる。国立環境研究所の調査では、日本で観測される硫黄酸化物のうち49%が中国起源のものとされ、続いて日本21%、火山13%、朝鮮12%とされている¹⁾。また、PM(粒子状物質)について行われた研究は、PM₁₀, PM_{2.5}に関するものが多かった。これはPM_{2.5}やPM₁₀が健康に影響を与える恐れが大きいためである。特に、PM_{2.5}については、呼吸器の奥深くまで入り込みやすいことなどから、人への健康影響が懸念されている²⁾。特定のイオンに関する研究はNH₄⁺(NH₃), NO₃⁻など、窒素に関するものが多いことがわかった。これは農地からのアンモニア放出が問題になっていることからわかるように、アンモニア・アンモニウムイオンなどの窒素性物質の放出が農業において注目を集めているからと推察される。他に、沈着に関する研究でも窒素性化合物は注目されている。さら

に PM や大気中のイオンに関して、発生源から直接排出される一次粒子と、大気中の光化学反応等により生成される二次粒子に関しても、非常に注目されている。拡散・輸送に関して、農薬の使用は周囲の環境や人体への影響も大きく、気象条件の影響も大きく受けるため、様々な条件を考慮し使用することが重要であることが示されている。これは他の大気汚染物質が大気中を移動することにより他の地域の大気汚染物質となることと同様である。

以上のように、大気中の化学物質の拡散は気象学、生物学、生態学、疫学など様々な分野にまたがった学際的な問題となっている。このような問題に対処するには、これまで以上に各分野にとらわれることなく、多くの分野が協力して問題解決に取り組んでいかなければならないと考える。また、大気を介した汚染物質の拡散は、一か所にとどまる問題ではないので、国や地域間の協力にもとづく、広い視野でのアプローチが必要と考えられる。

引用文献

- 1) Wikipedia 硫黄酸化物
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%A1%AB%E9%BB%84%E9%85%B8%E5%8C%96%E7%89%A9>
- 2) 微小粒子状物質 (PM2.5) について - 環境省
http://www.env.go.jp/policy/assess/5-4/basic/basic_h23_6/mat_6_4_2.pdf

水田水管理における水不足状況の指標となる分水工掛の特徴について

—滋賀県愛知川扇状地を事例として—

Characteristics of division works area as an index of water shortage in paddy water management: a case study in the Echi river fan

Key words : Paddy water management, Water distribution, Channel network

水環境工学分野 安藤 哲城

1. はじめに

滋賀県愛知川扇状地は、兼ねてから農業排水の反復利用や地下水を利用しているが、現在も水不足に悩まされている。

水不足となる要因は、恒常的な取水量の不足以外に、物理的な用水供給効率の側面も関係している。また、各農家の水管理に対する意識も異なる(吉永, 2013)。よって、水不足となりやすい地域、なりにくい地域の水路網や圃場配置の特徴を把握し、各地域での水管理の実態を解明して、実際に水不足となりやすい構造の分水工掛で水不足が生じているか確認する必要がある。

本研究では、圃場単位での水不足の生じやすさを表す指標となる値について、どのような要素が利用できるか検討し、その指標と水管理者の水管理状況との関係性について考察した。また、分水工掛単位で水不足の生じやすさを表す指標として、どのような分水工掛の特徴が利用できるか検討した。また、水不足を生じにくくさせる分水工掛の構造について考察した。

2. 材料と方法

2.1 調査地域

本研究では、滋賀県東近江市、近江八幡市及び愛知郡愛荘町にまたがる愛知川扇状地を対象とした。この地域は、永源寺ダムで用水を直接取水し、愛知第一、愛知第二、神崎、蒲生の各幹線水路に分水して、用水を補給している。また、頭首工、集水渠、揚水機、湧水、溜池、調整池、反復利用施設、地下



図1 調査地域

水ポンプなどの補助システムが併存している。

2.2 使用したデータと収集項目

使用したデータは、地域管理用水 GIS と、数値標高データである。GIS データは、愛知川土地改良区から提供を受けた。これを用いて、各分水工掛の圃場面積及び上流側配水面積を算出した。対象とした分水工掛の位置を図1に示す。上流側配水面積は、分水工掛内の圃場に配水されるまでに、分水工からどれだけの圃場面積に用水を補給しているかを計算したものである。この面積の値が大きい圃場ほど、上流側の圃場の水管理の影響を強く受けると考えられる。よって、この値を圃場単位での水不足の生じやすさを表す指標の1つとした。

2.3 聞き取り調査

9つの各分水工掛内に設置した調査圃場の水管理者(計9名)に対して、2014年1月に、水量管理の実態及びそれらに対する意識についての聞き取り調査を行った。

3. 結果と考察

3.1 上流側配水面積と聞き取り調査の比較

各調査圃場の上流側配水面積の値を図2に示す。この値が比較的大きい No.6 (後地), No.8 (東出), No.9 (元持) では「水不足を感じる」という回答を得られ、上流側配水面積の値と水不足に対する意識に概ね関連性があることが示された。

No.3 (糠塚), No.7 (金堂) では、上流側配水面積の値が比較的大きいものの、「水不足を感じない」という結果であった。これは、No.3 では、農業法人による経営により、粗放的な水管理が行われていないこと、No.7 では、瓜生川からの大規模な逆水灌漑によって用水補給がなされていることがそれぞれ影響していると考えられる。

No.2 (八日市1) では、上流側配水面積の値は小さいが、「水不足を感じる」という回答が得られた。これは、圃場整備が行われておらず、落水口や排水路がないことに加え、調整池や反復利用施設による用水補給がないことが影響していると考えられる。

3.2 分水工掛の形状と水路網との比較

分水工掛の水路網の構造に起因する水不足の生じやすさを表す指標の1つとして、分水工掛内の圃場

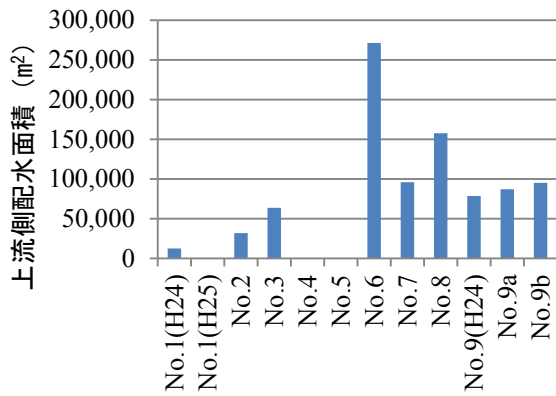


図2 各調査圃場の上流側配水面積

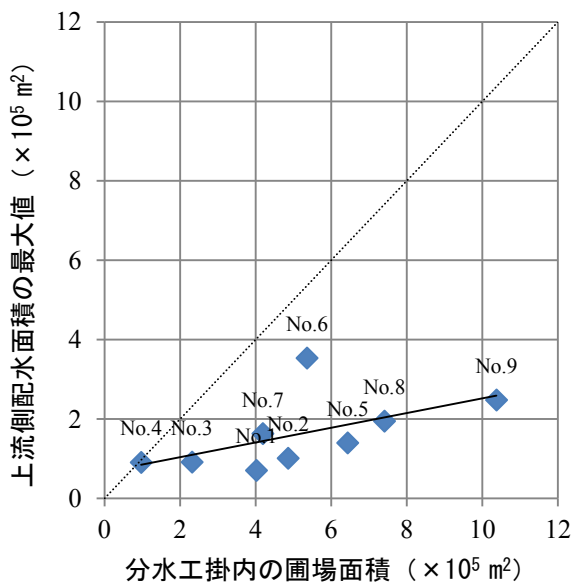


図3 圃場面積に対する上流側配水面積の最大値

面積に対する上流側配水面積の最大値の割合を算出した。各分水工掛内におけるこの割合を図3に示す。

No.6では、この割合が0.67と比較的高い値であることから、水路の分岐点が分水工から離れていることにより、下流側の圃場が上流側の圃場の影響を受けやすい水路網の構造の1つであることが裏付けられた。

No.5(青山1)やNo.8, No.9は、分水工掛内の圃場面積がNo.6に比べて大きい、上流側配水面積の最大値はNo.6と比べていずれも小さい。これらの分水工掛では、送水路の役割を持つ水路が構成されており、その水路から分岐して圃場に配水する形式が主であるため、上流側配水面積の最大値が大きくなりやすいと考えられる。

分水工掛の形状においては、No.4(妙法寺2)やNo.6は、分水工掛の上流から下流に向かって、全体として縦長の細長い形状となっている。このような形状の分水工掛では、分水工から長い送水路を通すのが難しく、下流側の圃場の上流側配水面積が大きくなりやすい。No.1(野神)では、分水工掛の上流

から下流に渡って、横長の圃場配置となっているため、細長い形状であっても、上流側配水面積が大きくなりやすい。

上流側配水面積の最大値を小さくするためには、①分水工から近い位置で水路を分岐させる、②送水路を設ける、③送水路から分岐して圃場に配水する水路を設ける、④分水工掛の上流から下流に向かって、縦長の細長い形状の分水工掛にすることはなるべく避け、できるだけ横長となるような圃場配置にする、の4点が重要であると考えられる。

今後、水路の更新などと合わせて、分水工掛や水路網の構造が変更できる場合には、上流側配水面積の最大値が小さくなるように配慮すると良いと考えられる。変更が困難な場合は、上流側の圃場で無駄な取水が行われないように、水管理者の意識向上を図る必要がある。

4. まとめ

圃場単位で、水不足の生じやすさを表す指標として、上流側配水面積を定義し、これと水管理者の水不足に対する意識が関連性をもつことを示した。ただし、大規模な代替の灌漑方式を利用している場合や、水管理組織等によって粗放的な水管理を行っていない場合は、大きな上流側配水面積でも水不足を感じず、調整池や反復利用施設による十分な用水補給がない場合は、小さな上流側配水面積でも水不足を感じるものが例外的に明らかになった。

また、分水工掛の圃場面積に対する上流側配水面積の割合が、分水工掛の上流側配水面積の最大値を増加させやすい構造であるかの判断指標として利用できることを示した。また、この値が大きいほど、分水工掛面積自体が小さい場合や、水管理組織が機能している場合を除いて、水不足が生じやすい分水工掛の構造になることが示唆された。こうした特徴を持つ分水工掛では、水番の設置や水管理意識の向上など、分水工掛内での水管理の再考が重要になると考えられる。

今後は、土地改良区による、地域の統合的な水管理のツールとして、上流側配水面積を本地域の全分水工掛で算出し、その結果を投影したマップを作成する予定である。また、ある地域での水管理が他地域に及ぼす影響を把握するため、今回の研究で収集したデータを使用して、水移動モデルを構築する予定である。

引用文献

吉永健治(2013): 灌漑システムにおける水管理の進化と制度設計に関する考察—公平な水分配のための水管理組織の役割と行動—, 国際地域学研究, 16, 73-88

イネのマルチスペクトル解析における撮影角度の影響

Influence of the shooting angle on a multispectral image analysis of rice paddy

Key words: Digital camera, Remote sensing, Leaves cover rate, Nitrogen content

フィールドロボティクス分野 伊藤 啓悟

1. 緒言

現在の世界の農業生産において、地球の環境システムを壊すことなく、将来の人口増加に伴う食料供給を満たすことが必要であるとされている。そこで、より効率的で集約的な精密農業が重要である。精密農業とは作物の状態を均一にとらえず、ばらつきを測定し、最も効果的な対応を行うことで、低コストで生産性を上げ、環境保全にも寄与する営農形態である。中でも作物の生育のばらつきを測定するシステムに関する研究が数多く行われてきた。リモートセンシングとは、対象物に触れずに対象物の状態を観測する技術であり、作物の生育モニタリングシステムの構築には欠かせない要素であるといえる。また、日本の稲作農業においてもリモートセンシングを用いた精密農業の営農が目指されている。

リモートセンシングデータの解析には、植生指数(VI)と呼ばれる指標を用いることが多い。なかでも、可視光赤域の反射率と近赤外域の反射率で計算される正規化植生指数(NDVI)はイネの窒素保有量、収量と高い相関があるとされる(志賀(2003))。本研究ではデジタルカメラで得られた画素値から正規化植生指数(NDVI)を計算する手法について研究する。

また、水田圃場において低高度から画像を取得する方法としては、鉛直下向きに撮影する方法と斜め上方から撮影する方法が考えられる。斜め上方から撮影する方がより低い高度で圃場全体を撮影することが可能であるが、この際カメラの傾きが得られる植生情報に影響を及ぼす場合、正確な情報が得られない。そこで本研究では圃場内の一平方メートルの選択領域をあらゆる角度から撮影し、NDVIを求め撮影角度との関係を明らかにすることとする。

以上より、本研究の目的は、イネのデジタルカメラによる低高度画像のマルチスペクトル解析および画像撮影の際の撮影角度の影響を調べることとする。

2. 研究方法

2.1 デジタルカメラ

(1) デジタルカメラについて

本研究で用いたデジタルカメラは、CCD撮像素子を用いたコンパクトデジタルカメラである Canon

powershot A810を2台用いた。さらに、近赤外域の反射光の取得のため1台のカメラから赤外カットフィルタを取り除いた(IRカメラ)。

(2) NDVIの計算と補正

一般にNDVIの計算式は次のように表すことができる

$$NDVI = \frac{(IR - R)}{(IR + R)} \quad (1)$$

ここで、IRは近赤外域の反射率、Rは可視光赤の反射率を表している。

本研究では、NDVIの計算には、対象領域の画素値の平均値を用いて行った。

ここで赤外域の光はIRカメラで感光されるが、デジタルカメラは画素値が飽和しないよう、露出時間を短くするよう制御されている。さらに、CCD撮像素子の感度は入射光の波長に依存し特に赤外域の波長帯では、感度が低下することが知られている。これらを考慮し画素値の補正を行い、R値とIR値、さらにNDVIを計算した。

2.2 実験方法

本実験においてはデジタルカメラ、測量用アルミ棒、マーカーを組み合わせ、圃場の画像を撮影する装置を作成した。実験は2013年9月11日に京都府南丹市八木町の圃場にて行った。イネは出穂期前のヒノヒカリであり、天気は快晴であった。実験装置を使いデジタルカメラの焦点距離を固定し、カメラの位置と角度を変えながら、圃場の画像の取得を行った。NDVIを計算する領域はマーカー中心部1メートル四方とし、対象領域、マーカーが写りこむように画像を取得した。画像は図2のように、約450枚得られたが今回マーカーの頂点すべて(4点)が画像内に収まっている画像(304枚)を解析対象として用いた。



図1 実験方法

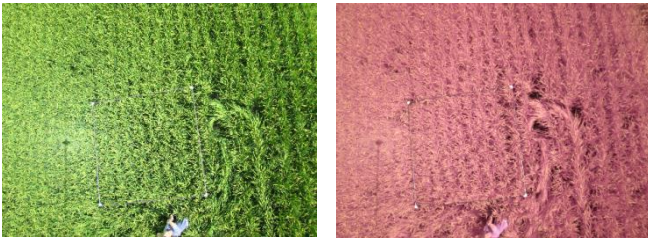


図2 得られた画像

2.3 解析方法

画像処理と撮影角度の計算には Microsoft Visual Studio 2010 において C++言語を用いた. およびオープンソースライブラリ OpenCV ver2.3.1 を関数ライブラリとして参照した. 撮影角度は, 画像内のマーカー点 (4点) の対応によるカメラキャリブレーションから求めた. また, このキャリブレーションにより 1メートル四方の領域に対応する領域を選択し, 輝度値の平均から前述の補正方法を用いて NDVI を計算した.

3. 結果と考察

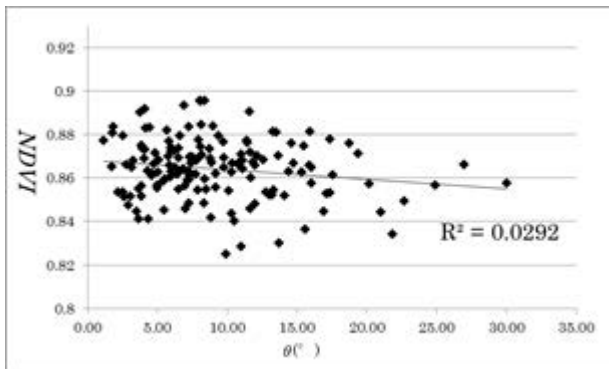


図3 撮影角度と NDVI

図3から, カメラの角度は約 30° 以下の場合、撮影角度は NDVI の値に影響を及ぼさないことがわかった. しかし, 飽和した輝度値による影響も考えられるため, 今後このデジタルカメラを用いてマルチスペクトル解析をする際には, IR カメラのシャッター速度をさらに早く, または絞りを小さくする必要がある.

4. 緒言

デジタルカメラを用いたイネの低高度リモートセンシングは十分に可能であり, 撮影角度は NDVI の値に影響を及ぼし, カメラの角度が地面に鉛直な向きより 30° 以下の場合, 撮影角度は NDVI の値に影響を及ぼさないことがわかった.

すなわち, 低高度リモートセンシングにおいて斜め上方からの撮影はより低い高度で圃場全体を撮影

することができ, 30° 以下のカメラ角度の影響は無視できる. 上空から圃場全体を撮影する場合, カメラと対象領域の角度は 30° 以下になるように撮影すれば, 適切な画像が得られると考えられる

今後は, このデジタルカメラを用いて水田圃場全体の NDVI のばらつきをより広範囲かつ正確に取得できる方法に関して研究を進めていきたい.

参考文献

- 1) Clement Atzberger, 2013, Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs, Remote Sensing, Volume 5, Issue 2, 949-98..
- 2) Tucker, C.J., 1979, Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, Remote Sens. Environ, 8, 127-150.
- 3) 志賀弘行, 2003, 米・小麦の安定生産への衛星リモートセンシングの活用, 農業機械学会誌, 65(4), 9-12.
- 4) 吉野邦彦, 串田圭司, 2000, 水稻品種による複数角反射特性の相違, 農業土木学会論文集 68(1), 85-93.

光強度および日長が葉菜類の成長に及ぼす影響*

The effect of different light intensity and photoperiod on growth of leafy vegetable*

Key words: Plant factory, Environment, LED, Top weight

農業システム工学分野 今泉 良太

1. 緒言

近年、季節や天候に左右されず野菜の安定供給が可能であることや、土地を選ばないという利点から、植物工場における野菜の栽培に注目が集まっている。完全制御型植物工場では、光環境を含めた植物の生育環境を人工的に完全に制御することで季節や天候に左右されず無農薬で高品質な野菜を周年栽培できる。しかし、完全制御型植物工場では必要な光すべてを人工光でまかなうためランニングコストが高くなってしまいうことが大きな課題となっている。

光環境に関しては、リーフレタスにおいて光合成光量子束密度(PPF)が $350 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上の強光下では生育に異常をきたすという報告¹⁾や、明暗周期(明期と暗期の和)が短い方がチップバーンの進行が遅かったという報告²⁾があるが、実際に光強度や日長を細かく区分してこれらの条件が様々な品種の植物の成長にどの程度の差を与えるのか、また生理障害がどの程度生じるのか、またそれらの品種間の差異については知られていない。

そこで本実験では、完全制御型植物工場におけるランニングコスト削減を最終目標として、代表的な植物工場野菜であるリーフレタス、コマツナ、およびレッドファイヤーを対象として、栽培に最適な光強度および日長を評価することを目的とした。

2. 実験方法

供試植物として、グリーンウェーブ、コマツナ、レッドファイヤーを用いた。種子をウレタンスポンジに播種し、8日後、発芽した苗を水耕パネルへと移植し、完全制御型植物工場において植物の成長に最適な光強度を求めするための実験と、最適な日長を求めするための実験をそれぞれ行った。光強度の実験は、グリーンウェーブにおいては5種類の光強度($80 \sim 120$, $120 \sim 160$, $160 \sim 200$, $200 \sim 240$, $240 \sim 280 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)、コマツナに関してはこの5種類に $280 \sim 320 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の実験区を加えて6種類の光強度、レッドファイヤーにおいては6種類の光強度($60 \sim 100$, $100 \sim 140$, $140 \sim 180$, $180 \sim 220$, $220 \sim 260$, $260 \sim 300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)で行った。それぞれ明期14時間暗期10時間の光周期に設定した。日長の実験は、3品種

とも6種類の日長(14, 16, 18, 20, 22, 24時間)の条件下で行った。日長の実験における光強度は、それぞれの品種で光強度の実験で判明した最適な値に設定した。各実験において、室温は明期 23°C 暗期 18°C 、養液の温度は 18°C に制御した。

各実験において週に2度生体重(根と培地を含む)を測定し、移植から28日後に収穫を行い、生体重、地上部生体重、葉数、莖長を測定した。収穫後、乾燥機を 103°C に設定し24時間乾燥させ、乾物重を測定し、乾物重と生体重から乾物率を計算した。

3. 結果および考察

3.1 光強度の実験

異なる光強度がグリーンウェーブ、コマツナ、レッドファイヤーそれぞれの収穫時の地上部生体重に与える影響を、図1~図3にそれぞれ示す。

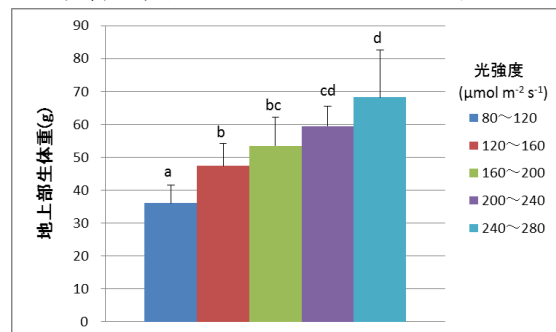


図1 異なる光強度下で栽培されたグリーンウェーブの収穫時の地上部生体重(g)

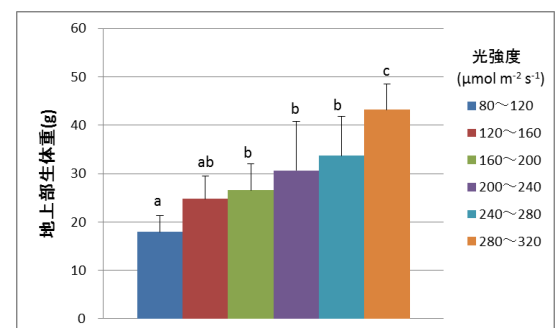


図2 異なる光強度下で栽培されたコマツナの収穫時の地上部生体重(g)

*農業食料工学会関西支部第116号に一部掲載

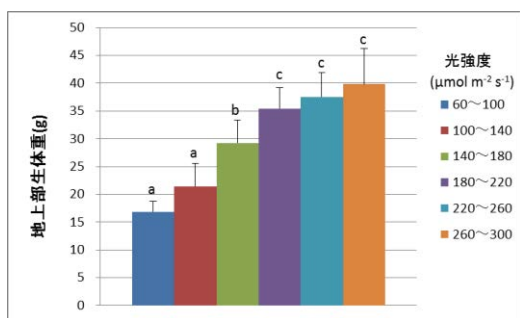


図 3 異なる光強度下で栽培されたレッドファイヤーの収穫時の地上部生体重 (g)

これらの図より、光強度に関しては、異なる品種間で成長に多少の差異はみられるものの、3 品種とも共通して光強度の増加に伴い成長が有意に促進されることが明らかとなった。これは今回の実験条件では光強度が最大の実験区でも光飽和に達していなかったためであると考えられる。そのため、それぞれの品種について光合成曲線を測定し、この結果を裏付ける必要があると考えられる。また、より強い光強度下でどのような結果を示すのかについても評価する必要があると考える。

3.2 日長の実験

異なる日長がグリーンウェーブ、コマツナ、レッドファイヤーそれぞれの収穫時の地上部生体重に与える影響を、図 4～図 6 にそれぞれ示す。

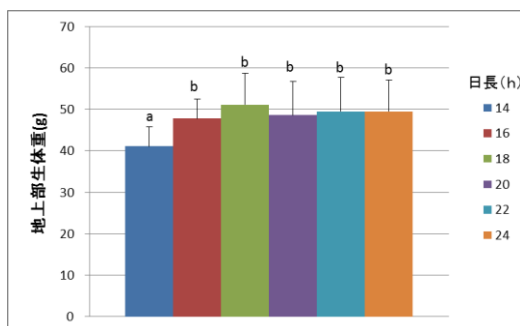


図 4 異なる日長下で栽培されたグリーンウェーブの収穫時の地上部生体重 (g)

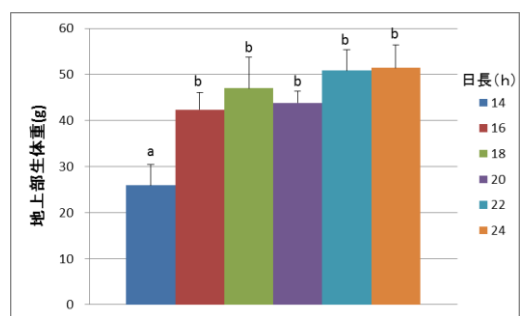


図 5 異なる日長下で栽培されたコマツナの収穫時の地上部生体重 (g)

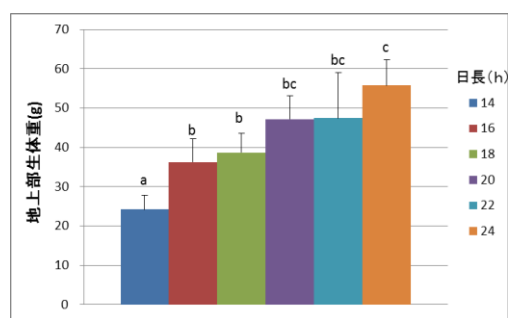


図 6 異なる日長下で栽培されたレッドファイヤーの収穫時の地上部生体重 (g)

日長に関しては、グリーンウェーブとコマツナにおいては 14 時間日長で地上部生体重が他の条件に比べて有意に小さかったものの、16～24 時間の日長では地上部生体重は日長が長くなっても増加せず有意差は認められなかった。また、グリーンウェーブとレッドファイヤーにおいては 24 時間の実験区においてチップバーンが観察され、暗期のない光条件では、生理障害が発生した。

4. 結言

植物の成長に最適な光強度及び日長を知るため、光強度あるいは日長の異なる多くの実験区を設けて植物の成長を比較した。光強度に関しては、3 品種とも少なくとも今回の実験区の範囲では光強度が大きいほど成長が促進されたが、日長に関してはグリーンウェーブとコマツナにおいては 16 時間以上の日長では地上部重は変化しないことが明らかとなった。

一般に光強度が等しい場合、光の照射時間が短いほど照明コストを減少させることができる。このため 14 時間以外の日長では有意差がみられなかったことを考慮すると、グリーンウェーブやコマツナにおいては 16 時間などの短い日長で、チップバーンのような生理障害も発生させずにランニングコストを削減できる光条件であることが判明した。

参考文献

- 1) Oda M, Aoki S, Nagaoka M, Tsuji K. Nutrient solution culture of leaf lettuce under artificial light. II. Growth promotion induced by continuous illumination with low light intensity. *Environ. Cont. Biol.* 27: 75-82.1989.
- 2) Eiji Goto and Tadashi Takakura. Reduction of lettuce tipburn by shortening day/night cycle. *J. Agric. Meteorol.* 59 (3): 219-225.2003

低水頭小規模ドリップ灌漑システムの水理モデル

A hydraulic model of low-head drip irrigation system

Key words: Drip irrigation, Pipe network, Reynolds number

水資源利用工学分野 海野 優介

1. はじめに

近年、途上国などにおける小規模園芸農業では、圃場内に設置されたタンクから重力によりドリップチューブへ送水する、水頭数 m 以下の低水頭ドリップ灌漑システムが普及しつつある¹⁾²⁾。ここでは、低水頭小規模ドリップ灌漑システムを水理学的手法によりモデル化し、タンクの水位変化を含め、流況を計算機上で再現することを目的とする。ドリップチューブ内の流れは管水路定常流として取り扱い、とくに、層流と乱流の遷移領域の流れに対応するため、Reynolds 数を用いて記述される一次補間式を導入する。また、小規模な管路システムにおける実験からモデルパラメータを同定し、より実現象に則したシミュレーションを行う。これらをもとにドリップチューブの接続の違いによる効果について検討する。

2. 水理モデル

ドリップチューブ内の灌漑水の流れは管水路定常流として取り扱う。直径 D 、断面積 A の一様な円管においては、層流、乱流それぞれにつき、長さ L の区間での摩擦損失水頭 h_f は

$$h_f = \frac{64\nu L}{2gAD^2} Q \quad (1)$$

$$h_f = \frac{8\sqrt{4gn^2L}}{D\sqrt{D}} \frac{1}{2gA^2} Q|Q| \quad (2)$$

となる。ただし、 ν は灌漑水の動粘性係数、 g は重力加速度、 Q はドリップチューブ内の灌漑水の流量、 n はマンニングの粗度係数である。ここで、定数 C_1 、 C_2 を

$$C_1 = \frac{64\nu L}{2gAD^2} + K_o \frac{1}{2gA^2} \quad (3)$$

$$C_2 = \left(K_e + \frac{8\sqrt{4gn^2L}}{D\sqrt{D}} + K_b + K_j + K_o \right) \frac{1}{2gA^2} \quad (4)$$

とおくと、区間両端における水頭を η_l と η_r で表せば、流れが完全に層流である場合には

$$\eta_l - C_1 Q - \eta_r = 0 \quad (5)$$

完全に乱流である場合には

$$\eta_l - C_2 Q|Q| - \eta_r = 0 \quad (6)$$

となる。ここに、 K_e 、 K_o 、 K_b 、 K_j はそれぞれ管の入口、出口、曲がり部、分岐点における形状損失係数である。層流と乱流の遷移領域の流れに対応するため、(5)と(6)を一次補間式

$$(1-\theta)C_1 Q + \theta C_2 Q|Q| + \eta_l - \eta_r = 0 \quad (7)$$

によって連結する。ここに、 θ は重みであり、臨界 Reynolds 数の下限 Re_{inf} と上限 Re_{sup} を用いて、

$$\theta = \max \left(0, \min \left(1, \frac{Re - Re_{inf}}{Re_{sup} - Re_{inf}} \right) \right) \quad (8)$$

で定義する。ドリップチューブ区間の端点を節点と考えれば、質量保存則による連続式は

$$\sum_k \sigma_{ik} Q_{ik} = q_i = K_i \sqrt{g(\eta_i - e_i)} \quad (9)$$

となる。ここに、 Q_{ik} は第 i 節点に k 番目に接続するドリップチューブ区間の流量 Q 、 σ_{ik} は第 i 節点に k 番目に接続するドリップチューブ区間の局所座標の方向を示す絶対値 1 の実整数、 q_i は第 i 節点におけるエミッターからの流出流量であり第 i 節点の圧力水頭の平方根に比例すると仮定している(比例定数 K_i)。 η_i は第 i 節点の水頭、 e_i は第 i 節点の高さである。タンク水位 H についての連続式は、

$$\frac{dH}{dt} = -\frac{Q_0}{a} \quad (10)$$

となる。ここに、 a はタンク断面積、 Q_0 はタンクに接続するドリップチューブ区間の流量である。

3. 計算手法

ドリップチューブ内の管水路定常流については、各区間での支配式(7)と各節点での支配式(9)を合わせた区間数+節点数の非線形代数方程式について Newton-Raphson 法により反復求解を行う。その一方で、タンク水位については、支配式(10)について、4次精度の Runge-Kutta 法を用いて時間方向に計算を進める。

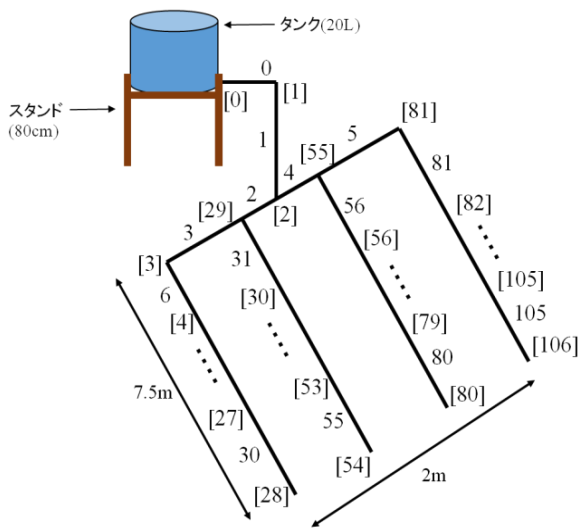


図1 低水頭ドリップ灌漑システムの概要

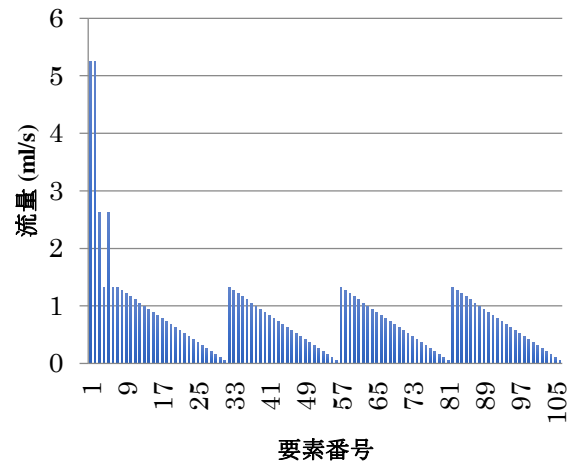


図2 ドリップチューブ内の灌漑水の流量

4. パラメータ同定実験

小規模な管路システムを構成し、比例定数 K_i を同定するための実験を行った。勾配 0 の開水路の末端を閉塞し、水を貯留するような形にする。そこからサイフォンによりドリップチューブに送水し、エミッターからの流出流量を数か所で計測した。流出流量のデータをもとにベルヌーイの定理から各点での圧力水頭を推定し、(9)式より比例定数 K_i の値を算出した。

5. 計算結果と考察

低水頭小規模ドリップ灌漑システムとして、Ngigi et al.³⁾の提案するものを対象とする。図1に示すように、水平な圃場に並行に設置された各 7.5 m 長の 4 本のドリップチューブに、高さ 0.8 m の位置に設置された容量 20 L のタンクから重力給水する。タンクから各ドリップチューブに至る送水管も、ここでは便宜的にドリップチューブとして取り扱う。ドリップチューブのエミッターと分岐点を節点(図1の [0]~[106])、2 節点に挟まれた区間を要素(図1の 0~105)と呼ぶ。

図1のシステムにおいて実際に流量の計算を行った結果を図2に示す。タンクから離れるにつれ、ドリップチューブ内の灌漑水の流量が様に減少していくことが確認された。また、タンク水位の経時変化を調べると、時間が経つにつれ水位減少が緩やかになること、つまり灌漑強度が低下することが分かった。次に、図1において要素番号 40 の区間でドリップチューブが寸断された場合、また、節点 [28]-[54]-[80]-[106] を連結した多重連結型管路の場合についてそれぞれ計算を行い、通常接続の場合の計算結果と比較した。通常接続では寸断箇所から下流側には灌漑水が流れないのに対し、多重連結型の場合においては、管が寸断されても別の経路で灌

漑水がドリップチューブ全域に行き渡ることが示された。さらに、タンクを対称に 2 基設置した場合のシミュレーションを行ったところ、2 つのタンクの間接点を中心に流況も対称となった。以上の結果から、管路を多重連結型に接続することでドリップチューブの故障に対するリスク回避が可能であることが示された。また、重力給水という性質上エミッターからの流出流量にばらつきがあるが、タンクを複数基設置することでタンク一基あたりに対する灌漑面積が小さくなり、灌漑水量のばらつきを抑えられるということが確かめられた。

6. おわりに

途上国において、各圃場単位で灌漑設備が管理、運営されるような自律分散型灌漑農業が発展するために普及が期待される。低水頭小規模ドリップ灌漑システムに関して、ドリップチューブ内の灌漑水の流況を定量的に把握するモデルを開発した。さらに、開発したモデルを使用して実際に計算を行い、ドリップチューブの接続の違いによる効果及び、タンクを複数基設置することによる効果について検証を行った。その結果、両者の有効性がともに証明された。今回開発したモデルが、小規模ドリップ灌漑システムの構成において、適切な管水路網の計画に役立てられることが期待される。

引用文献

- 1) Ngigi SN (2008) : Technical evaluation and development of low-head drip irrigation systems in Kenya, *Irrigation and Drainage*, 57(4), 450-462.
- 2) Miller E (1990) : A low head drip irrigation system for smallholdings, *Agricultural water management*, 17, 37-47.
- 3) Ngigi SN, Savenije HHG, Thome JN, Rockström J, De Vries FWTP (2005) : Agro-hydrological evaluation of on-farm rainwater storage systems for supplemental irrigation in Laikipia district, Kenya, *Agricultural Water Management*, 73(1), 21-41.

ヘルムホルツ共鳴を利用したイワガキ軟体部の体積測定*

Measurement of Iwagaki Meat Volume Using Helmholtz Resonance*

Key words: Iwagaki, Helmholtz Resonance, Volume

生物センシング工学分野 枝松 広明

1. 緒言

近年、京都府では大型で高品質のイワガキが数多く出荷され高値で取引されている。しかしイワガキの中には殻の大きさに対して軟体部が極端に小さい個体が存在する。現在、イワガキの市場価値は質量・殻の寸法で決められており軟体部の大きさは考慮されていない。そのため軟体部の小さい個体が高値で取引され、消費者の信頼を損ねる問題が生じている。イワガキは剥き身ではなく殻付きのまま出荷されるため、解体することなく軟体部体積を予測する手法が望まれている。

そこで本研究ではヘルムホルツ共鳴を利用した体積測定を提案する。この方法は高精度かつ安価、短時間で測定できるという利点がある。先行研究より、不均一な形状をした農産物の体積測定に成功しており¹⁾、不均一な形状の殻をもつイワガキに対しても同様に有効であると考えられる。先行研究としてマガキを用いた軟体部体積予測方法が報告されているが、実用化にあたり予測精度が十分ではない²⁾。原因は殻密度の個体差の大きさ、殻内に残った水の存在がある。殻内に残った水に関しては殻の一部を切断、また $MgCl_2 \cdot aq(0.369 M)$ を用いた筋弛緩により殻を開け、その後遠心器に入れて脱水する方法の有用性が示されている。殻の切断は本来望ましくないが、消費者が殻を解体して調理しやすい利点があり、大きな問題にはならない。殻切断による方法では全てのイワガキの脱水が可能となるが、殻を破壊する、殻内に残る水が多いといった問題がある。一方で筋弛緩による方法では殻内に残る水が少なく、殻を非破壊で開かせることが可能であるが、一部開かない個体が存在するといった問題がある。

本研究では同手法をイワガキに適用し、予測精度の向上を目指して殻密度の補正方法および筋弛緩法を用いたときに全てのカキの殻を開かせる方法の開発を目的とする。

2. イワガキ軟体部の体積予測式

軟体部体積を予測するため、以下の方法を用いた。イワガキの殻密度を ρ_{shell} [g/mL]、軟体部密度を ρ_{meat} [g/mL]、殻体積を V_{shell} [mL]、軟体部体積を

V_{meat} [mL]、殻と軟体部の体積を $V_{shell+meat}$ [mL]、殻と軟体部の質量を $M_{shell+meat}$ [g] とすると、(1)(2)式が成り立つ。さらに、この二式より(3)式が得られる。 ρ_{shell} 、 ρ_{meat} 、 $V_{shell+meat}$ 、 $M_{shell+meat}$ の4つの値から V_{meat} を予測できる。 $M_{shell+meat}$ は電子天秤で計測する。また ρ_{meat} は平均値を使用するが、 ρ_{shell} は平均値ではなく個体差を補正した値を使用する。マガキにおいて ρ_{meat} の個体差は小さいが、一方で ρ_{shell} の個体差は大きいということがわかっており²⁾、イワガキに対しても同様と考えられる。 $V_{shell+meat}$ はヘルムホルツ共鳴を利用して測定する。

$$\rho_{shell}V_{shell} + \rho_{meat}V_{meat} = M_{shell+meat} \quad (1)$$

$$V_{shell} + V_{meat} = V_{shell+meat} \quad (2)$$

$$V_{meat} = \frac{M_{shell+meat} - \rho_{shell}V_{shell+meat}}{\rho_{meat} - \rho_{shell}} \quad (3)$$

3. 軟体部密度および殻密度の調査

3.1 供試試料および調査方法

供試試料には128個体のイワガキを使用した。全てのイワガキを身と殻に解体し、それぞれの質量と体積を計測し密度を算出した。質量計測は電子天秤を使用した。体積計測は一般的な手法である液浸法を利用した。水中重計測には、電子天秤を使用した。殻密度に関しては、殻と軟体部の密度の実測値と殻密度の実測値との相関、また寸法の一つである殻幅と殻密度の実測値との相関を利用して線形回帰分析を行い、殻密度の補正を行った。

3.2 調査結果および考察

表1に ρ_{meat} 、 ρ_{shell} の平均値および標準偏差を示す。この結果をもとに、 ρ_{meat} 、 ρ_{shell} の誤差がそれぞれ軟体部体積の予測値に与える影響をシミュレーションしたところ、軟体部密度のばらつきは小さいが殻密度のばらつきは無視できない程に大きいことがわかった。また殻密度の補正值と実測値を比較したところ、決定係数 $R^2 = 0.92$ と高い相関がみられた。

表1 ρ_{meat} 、 ρ_{shell} の平均値および標準偏差

	ρ_{meat}	ρ_{shell}
平均値 [g/mL]	1.07	1.91
標準偏差 [g/mL]	0.02	0.15

*農業食料工学会関西支部報第116号に一部掲載

4. 脱水方法の検討

4.1 供試試料および実験方法

殻を切断しないイワガキ 11 個体, 切断したイワガキ 12 個体を使用した. 切断箇所は貝柱に近い側面とし, ナイフを差し込める程度の大きさの孔を開けた. 2 グループとも人工海水(塩分濃度 3.5 %)に 24 時間静置し, その後, $MgCl_2$ aq (0.369 M)に 24 時間浸した. その後, 殻が開いた個体数を数えた. 開いたカキを遠心脱水器に入れ, 開口部が遠心方向になるように 2ヶ所ベルトでカキを固定し 380 rpm の速さで水平方向に回転させた. (30 秒間×2 回) また脱水の評価指標として {脱水後質量[g] - (殻+軟体部質量)[g]} ÷ 脱水後質量[g]×100 で示す残水率を算出した.

4.2 実験結果および考察

切断しないグループでは 11 個体中 5 個体, 切断したグループでは 12 個体中 12 個体のカキが開いた. つまり軟体部に $MgCl_2$ aq が到達すれば殻が必ず開くことが示唆された. しかしこの方法では殻を破壊するため, 今後は殻を切断せず筋弛緩法で全ての殻を開く方法を提案する. また残水率は 0.002 ~ 1.103 % (平均 0.764 %) となった. この残水によって実際の軟体部体積の実測値よりも約 2 mL 多く誤差が生じることがわかった.

5. 軟体部体積の測定

5.1 供試試料および実験方法

脱水処理を行った後, 72 個体のイワガキを共鳴器に入れて共鳴周波数を計測した. 実験系を図 1 に示す. 共鳴器の構造は, ネック長が 10 mm, ネック孔径が 30 mm (断面積 706.85 mm²), 下部空洞部体積が 3300 mL である. スピーカはアンプに接続し, パソコンから信号を入力する. 本研究では, 開放系スピーカインピーダンス法³⁾を使用した. 入力 sweep 信号でおこない, 極大点周波数の前後 50 Hz 程度である 150 Hz から 250 Hz までを周波数範囲としサンプリング周波数 48 kHz で 5 秒間測定した. 得られた応答信号をゼロ詰め高速フーリエ変換した後, 二次 Savitzky-Golay フィルタの最適ポイント数(201)でスムージングし, 共鳴周波数を算出した. 測定は 3 回ずつ行い, 平均値を用いた.

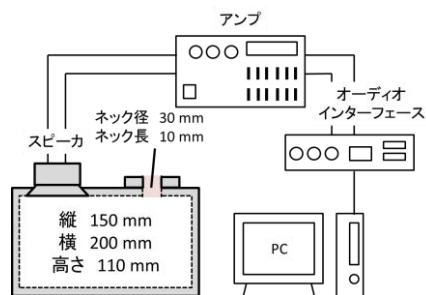


図 1 ヘルムホルツ共鳴の実験系

5.2 実験結果および考察

図 2 に $V_{shell+meat}$ の予測値と実測値を比較した結果を示す. $R^2=0.97$ と高い相関が見られたが, 四角点のように大きく外れる個体が存在した. 四角点はいずれも寸法が最大であり, 開口端補正の影響を受けたと考えられる. これを防ぐにはイワガキの体積に応じた容積の共鳴器を使い分ければよい. 三角点は体積が大きくなるとばらつきも大きくなった. これは吸音効果の個体差によるものと考えられる.

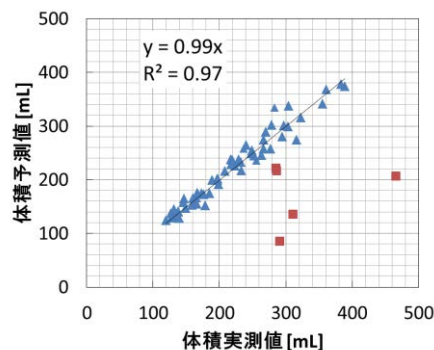


図 2 $V_{shell+meat}$ の体積予測

以上 4 つの値を(3)式に代入したものを軟体部体積の予測値とし, 実測値と比較したところ全く相関がないという結果になった. ($R^2=-0.15$)それぞれのパラメータは高精度に測定できているものの, 誤差が重なり合ったことが原因である. 今後は中でも大きい誤差となった $V_{shell+meat}$, ρ_{shell} の測定精度をより向上させる, または(3)式そのものを見直す必要がある.

6. 結言

本研究ではマガキ軟体部の体積測定法をイワガキに適用し, 予測精度の向上を目指して殻密度の補正方法および筋弛緩法を用いたときに全てのカキの殻を開かせる方法の開発を目的とした. 殻密度は平均値を使うにはばらつきが大きかったため, 多変量解析により補正を行った. その結果, 強い正の相関がみられたためこれを採用した. 筋弛緩法はカキの殻の一部を切断した後に行うことで, 全ての殻を開かせることに成功した. 4 つのパラメータである ρ_{shell} , ρ_{meat} , $V_{shell+meat}$, $M_{shell+meat}$ はいずれも高精度に測定できたが, イワガキ軟体部の体積予測は困難であった.

参考文献

- 1) 西津貴之, 池田善郎 (1995) : 農産物の音響的体積測定法 (第 1 報) - ヘルムホルツ共鳴による体積測定法の推定精度 -, 農業機械学会誌, 57(5), 47-54
- 2) 富田さくら (2013) : ヘルムホルツ共鳴を利用した魚介類の体積計測に関する研究, 京都大学農学研究科修士論文
- 3) 西津貴久, 鳥潟康雄, 吉岡宣明, 池田善郎 (2005) : 音響による農産物・食品体積計測法の耐騒音性向上に関する検討, 農業機械学会誌, 67(3), 49-57

愛知川扇状地内の水田圃場における水・物質収支と水管理の関係

The Relationship between Water and Material Balances and Water Management in Paddy Plots in Echi River Fan

Key words: Paddy water management, Water balance, Environmental load, Farmer's conscious

水環境工学分野 大塚 瑠香

1. 緒言

滋賀県愛知川扇状地は、長年農業におけるダムの水不足問題を抱える地域であり、その解決のために多様な水源からの取水や管理形態が導入されている。高齢化や環境問題など、複数の側面から今後の水管理のあり方を検討する上で、まず現状の水管理方法の把握が必要となるため、本研究では、扇状地内の複数の圃場での水・物質収支調査と水管理者に対する聞き取り調査を行った。

2. 方法

滋賀県東近江市及び愛知郡愛荘町内の愛知川扇状地を対象とする。図1に示す9地点の圃場で湛水深の経時観測を行うとともに、その結果を踏まえて、水管理を行った農家に水管理意識についての聞き取り調査を行った。

また、No.5, No.8では、2013年4月～8月の灌漑期間、用排水量を経時観測し、定期的に用水、排水(田面水)の採水を行い、水質分析(SS, T-N, T-P)を行った。なお、滋賀県東近江市読合堂の気象データを用いて Penman 式から蒸発散量を推定し、以下の水収支式から浸透量を算出した。

$$I + R = ET + D + P + \Delta H \quad (1)$$

ここで、 I は取水量、 R は降雨量、 ET は蒸発散量、 D は排水量、 P は浸透量、 ΔH は湛水深変化である。

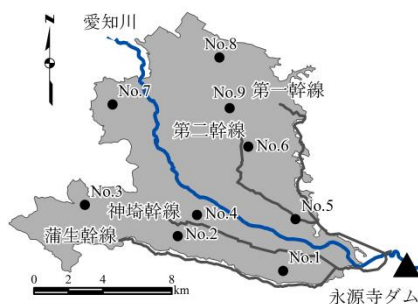


図1 調査地点

3. 結果と考察

3.1 聞き取り調査

表1に聞き取り調査の結果を示す。扇状地内あるいは分水工掛内での圃場の位置が上流であると、水不足を感じない傾向がある(No.1, 4, 5)。また、

表1 農家の意識

No.	分水工掛内位置	水不足意識	水不足の理由	取水頻度	取水基準
1	上流	無	上流だから	毎日	—
2	中流	あり	下流だから	1回/2,3日	水位一定値まで
3	中流	無	ポンプがあるから	1回/2日	水番による
4	上流	無	分水工に近いから	毎日	湛水5cm
5	上流	無	上流だから	1回/1カ月	常時水口開放
6	下流	あり	下流だから	毎日	水位一定値まで
7	中流	無	ポンプがあるから	毎日	水面下になるまで
8	下流	あり	下流だから	毎日	湛水5cmまで
9	中流	あり	下流だから	毎日	湛水5cmまで

下流であっても地下水や反復利用水を有効に利用している圃場に関しては水不足を感じないという結果となった(No.3, 7)。一方、分水工掛の下流側にある圃場では水不足を感じていることがわかった(No.2, 6, 8, 9)。また、取水頻度(ここでは水管理のために圃場を訪れる頻度と定義する)と取水量を決定する際に影響を与える項目として、(1) 降雨の有無、(2) 圃場の浸透特性(浸透量の大小)、(3) ダム水の隔日送水の有無(水不足への不安、取水日制限)、(4) 取水源の多様性(地下水ポンプ・反復利用堰の有無)、(5) 分水工掛内からの距離(地域内の上・下流圃場における水量の違い)、(6) 営農形態(兼業・専業)、(7) 経営規模(管理面積の増加による粗放化)が挙げられた。

3.2 水収支

図2にNo.5とNo.8の日平均水収支を示す。ここで無効降雨と栽培管理用水を足し合わせたものが排水である。No.5ではNo.8と比較して用水量が多く、排水量が少ない。この要因として、圃場の浸透能が高いために水口を常に開け放した管理をしていたこと、また圃場が扇状地内においても、分水工掛内においても上流に位置することから水が十分に送水されることが考えられる。浸透で消費される量を見越して水口を開けておき、落水口の堰板高さを高く維持したために、用水量が多くても排水量が少なく抑えられている。一方、No.8では、聞き取りの結果から水不足を感じているという結果となった。これは、扇状地内で下流に位置し、かつ分水工掛内でも下流であることから、ダムの水が十分に送水されないためであると考えられる。また、この圃場はNo.5と異なり毎日水管理を行っている。これは用水路の水が少ないために、必要な水を取水しようと、毎日確認したため

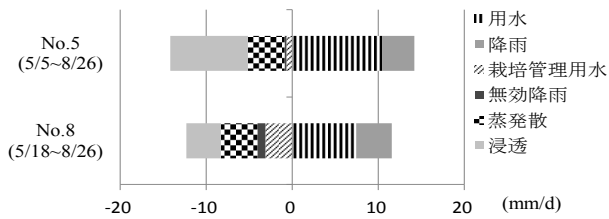


図2 灌漑期間中の日平均の水収支

であると考えられる。実際に水収支の結果を見ても、No.5と比較して用水量が少なくなっている。しかし、十分に落水口の管理ができておらず、栽培管理用水による排水量が多くなっている。これらを踏まえて、扇状地の上流では、十分な水が入るため粗放的な水管理になり、用水量が増大すること、一方で下流の圃場はそもそも送水されてくる水量が少ないこともあり、結果として相対的に節水的な管理とならざるを得ないことが分かる。

3.3 物質収支

表2にNo.5とNo.8のT-N、T-Pの灌漑期(代掻き・田植え期を除く)における平均濃度と平均負荷量を示す。No.5では、水口の管理が粗放的であっても、土壌の浸透量が大きいことから排水量が少なく、結果として排水負荷量が抑えられていることがわかった。一方で、No.8では、No.5の水質と比較すると、扇状地内で下流に位置し、反復利用水の影響を受けるため、用水のT-N、T-P濃度が高くなることがわかった。地域一体となって琵琶湖への汚染防止を考える場合には、下流の地域では特に、上流の排水を利用していることに加え、上流に比べて下流からの排水が反復利用される機会が少ないまま琵琶湖に流れるため、上流よりもこうした用水負荷量分を排水時にできる限り減らさなければならぬと考えられる。

3.4 今後の水管理の検討

以上を踏まえて、今後の水管理を検討する上で以下の3点が重要となると考えられる。

(1) 既存の水資源をより効率的に配分する上・下流が一体となった管理体制を築くこと。

具体的には、分水工掛内における全圃場の水口

の開閉についての権限をもつ専門のリーダーを決め、常に全体を見つづ、水が均等に分配されていない時には、水管理の指示出しを行うような水番の設置や圃場の水管理の当番制の導入である。

(2) 上記でも不足する場合は、反復利用水の利用率を上げ、地下水や溜め池など、多様な水資源を利用して、用水の供給を安定させること。

(3) 水利的不利性を補う支払い制度を導入すること。

具体的には、下流の不利性を考慮して、上流を含めた流域全体で地下水ポンプの経費を出し合うことや、直ちに琵琶湖に排水が流れる下流地域や反復利用割合の多い地域を対象とした環境配慮型の水管理に対する環境補助金などの制度導入である。

4. 結言

水文・水質観測によって各地域の水管理状態ならびに環境負荷を把握した。また、聞き取り調査から農家の水管理における判断を考慮した上で、水管理の実態と今後のあり方についての検討を行った。その結果、上流は十分な水が得られるため、粗放的な水管理になること、一方で下流は送水量が少ないこともあり、結果として節水的な管理となることが示された。ただし、聞き取り調査からは、一概に上・下流だけが水不足に影響するとは言えず、補給水量の多寡や水管理体制に大きく依存することも明らかになった。また、上・下流の圃場の物質収支結果から、琵琶湖へ流れる負荷量削減のためには、扇状地内で下流の地域あるいは反復利用水を使用する割合が多い地域では、より排水量を抑制した管理が必要であることも示された。

参考文献

- 堀野治彦(1995): 水田地帯における地下水利用に関する研究—愛知川扇状地を事例として—, 京都大学学位論文。
 - 大石 朗・小林正雄・浜田貞二・奥田英治・宮崎精介・許 成基(2008): 愛知川扇状地の水文地質構造, 扇状地水環境研究会, 159-174。
 - 坂田 賢, 堀野治彦, 三野 徹(2001): 直播水田における圃場単位の水利用に関する事例的研究, 農業土木学会論文集, 212, 17-22。
- 田淵俊雄, 高村義親(1985): 集水域からの窒素・リンの流出, 東京大学出版会, 75-129。

表2 灌漑期における平均濃度と平均負荷量

地点		濃度(mg/l)		負荷量(mg/d/m ²)	
		T-N	T-P	T-N	T-P
No. 5 (5/15-8/16)	用水	0.81	0.10	8.10	0.79
	排水	1.98	0.23	0.64	0.12
No. 8 (5/15-8/16)	用水	1.17	0.14	9.37	1.02
	排水	2.32	0.53	4.99	1.50

LEDを用いた赤色光と青色光の照射パターンの違いによる葉菜類の生長への影響*

Effects of the irradiation patterns of red and blue lights of LED for the leafy vegetables growth*

Keywords: plant factory, environment, top weight, Greenwave, Komatsuna, Redfire, Cos lettuce

農業システム工学分野 久野裕一郎

I 諸言

植物の生長量や形態は光質を変化させることで変化し、光質に対するその反応は植物の品種によって異なる。既往の研究では、グリーンウェーブの栽培を対象として、赤色光もしくは青色光のみを照射してもグリーンウェーブの生体重の増加量は小さいが、赤色光と青色光の混合光を照射すると生体重の増加量が大きくなり、なおかつ赤色光の割合が多いほど生体重の増加量が大きくなったという報告¹⁾や、サニーレタスを対象として、赤色、青色、緑色および遠赤色の混合光を照射し、夜間補光として青色光を照射したところ、乾物重が増加したという報告²⁾がある。

植物の生長について最も効率のよい照射パターンは未だに不明であるが、最適な光環境条件を明らかにすることで、植物工場における省電力栽培技術の確立に貢献できる可能性がある。

本研究では、完全制御型植物工場において多品種の葉菜類を対象として赤色光と青色光の最適な照射パターンを確立することを目的とした。

II 実験材料および実験方法

光条件は図1に示すように、赤色LED(660 nm)と青色LED(450 nm)をそれぞれ光合成光量子束密度(PPFD)160, 80 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ に設定し、これらを12時間同時に点灯する実験区をTreatment1とし、青色LEDの照射開始時間を4, 8, 12時間ずらした実験区(Treatment2, 3, 4)を設定した。いずれの実験区も赤青LEDの一日の照射時間は同一であり、消費エネルギーは同じである。

供試植物としてグリーンウェーブ、コマツナ、レッドファイヤー、コスレタスを用いた。これらの種子を播種して9日後に発芽した苗を各実験区の水耕パネルに10株ずつ移植・栽培し、28日後に測定し収穫した。収穫時に生体重、地上部生体重、葉数、莖長、乾物重、乾物率を測定し、その後80℃、24時間で乾燥させ、乾物率、計算上の乾物重を求めた。

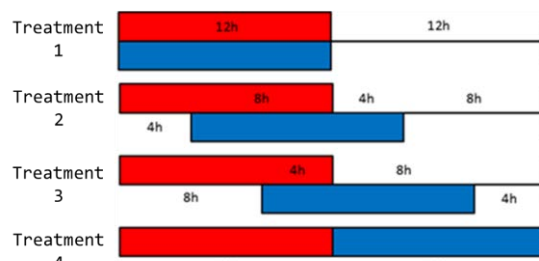


図1 赤色光と青色光の照射パターン

III 実験結果

グリーンウェーブの地上部生体重の結果を図2に示す。グリーンウェーブは赤青LED光の照射時間のずれが大きくなるほど(Treatment1から4になるにしたがって)地上部生体重が増加した。葉数、莖長も同様のことが観測されたが、乾物率に関して有意差は認められなかった。以上より、グリーンウェーブに関してはTreatment4の光質が最も生長を促進することが明らかになった。

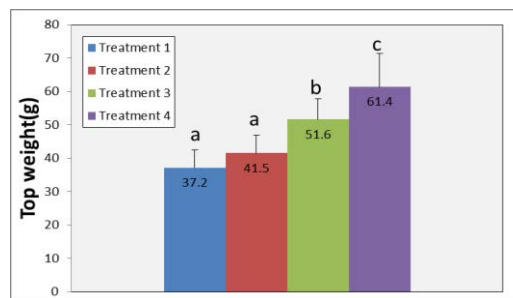


図2 グリーンウェーブの地上部生体重

コマツナの地上部生体重の結果を図3に示す。コマツナはTreatment1からTreatment3までは赤青LED光の照射時間がずれるほど生体重は増加したが、グリーンウェーブで生体重が最大となった照射時間が全く重なっていないTreatment4では有意差は認められないもののTreatment3よりも生体重の平均値は減少した。葉数の平均値においてもほぼ同様の傾向が観察されたが、有意差は認められなかった。莖長に関しては赤青LED光の照射時間のずれが大きくなるほど短くなり、Treatment1とTreatment4では有意差が認められた。

*農業食料工学会関西支部第116号に一部掲載

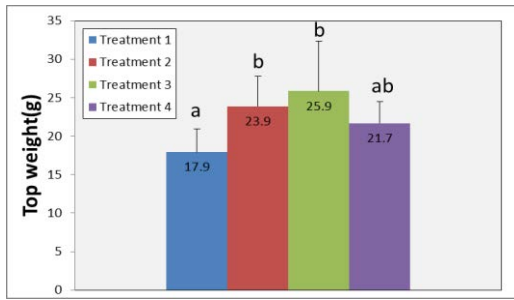


図3 コマツナの地上部生体重

レッドファイヤーの地上部生体重の結果を図4に示す。レッドファイヤーは、グリーンウェーブと同様に赤青 LED 光の照射時間のずれが大きくなるほど地上部重は増加した。葉数、莖長についても同様のことが観測された。乾物率は Treatment 1 のみ有意に増加したが、乾物重にすると生体重の差が大きすぎるために生体重と変わらない結果となった。

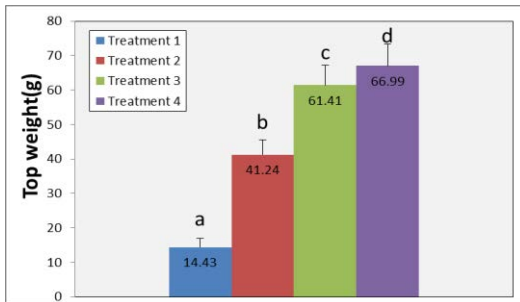


図4 レッドファイヤーの地上部生体重

コスレタスの地上部生体重の結果を図5に示す。コスレタスは照射時間をずらすほどに地上部生体重は増加したが、Treatment 3と Treatment 4の間には有意差は認められなかった。葉数、莖長は、赤青 LED 光照射時間をずらすほど大きくなった。

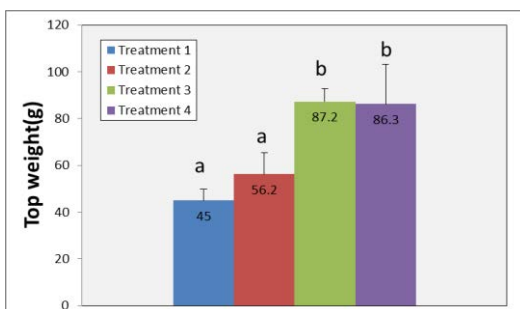


図5 コスレタスの地上部生体重

IV 考察

既往の研究では、搔レタスの栽培を対象として、赤色光をベースとして青色光の割合を変えて同時

照射し実験を行ったところ、青色光の割合が増加するほど生体重が減少することが確認されている³⁾。これより赤色光と青色光を同時照射する時間が長いと生長量が少なく、照射時間をずらすと生長量が増加したと考えることができる。

さらに既往の研究でサニーレタスを対象として、白色蛍光灯の光を照射し、夜間補光として青色蛍光灯の光を照射したところ、対照区として夜間補光を行わなかった区画と比較して地上部生体重、乾物重、葉数が増加したという報告⁴⁾がある。この実験においては補光時間が長くなるほど地上部生体重、乾物重、葉数が有意に大きくなっていることが述べられている。本実験においては、Treatment 1, 2, 3, 4 となるにつれて青色光を単独照射する時間は 0, 4, 8, 12 時間となっており、青色光の単独照射時間が長くなるにつれ、グリーンウェーブ、レッドファイヤー、コスレタスの生体重、地上部生体重、葉数は増加しているため、暗期となる時間に青色光を照射することが生長量を増加させるのに有効であると考えられる。

V 結言

赤色光と青色光の照射パターンの違いによる葉菜類への影響を調べるため、照射パターンを変えて植物を生育させた。グリーンウェーブ、レッドファイヤーに関しては照射時間をずらすほど生長量は大きくなった。コマツナに関しては照射時間をずらしても生長量の差は小さかった。コスレタスに関しては照射時間をずらすほど生長量が大きくなったが、Treatment 3と Treatment 4の間には有意差が生じなかった。これより照射パターンが異なると生長量に変化が生じ、その影響は品種によって異なる。

参考文献

- 1) 松本拓也, 伊藤博通, 白居祐希, 白石齊聖, 宇野雄一. 光質がレタス成長と野菜中硝酸イオン濃度に及ぼす影響. 植物環境工学(J.SHITA)22(3):140-147.2010.
- 2) 海老澤聖宗, 庄子和博, 加藤美恵子, 下村講一郎, 後藤文之, 吉原利一. UV-B, UV-A および青色光の夜間補光がサニーレタスの成長と着色に及ぼす影響. 植物環境工学(J.SHITA). 20(3):158-164.2008.
- 3) 齊藤裕太, 清水浩, 中嶋洋, 宮坂寿郎, 大土井克明. LED を使用した搔レタス栽培における赤色光をベースとした光質の影響. 植物環境工学(J.SHITA). 24(1):25-30.2012
- 4) 庄司和博, 羽生広道, 清水英人. 青色光の夜間補光がサニーレタスの着色と成長に及ぼす効果. 電力中央研究報告. U01009:1-32.2001.

能登半島の社会生態学的価値の多次元評価

Multidimensional evaluation of social-ecological value of the Noto Peninsula

Key words: Social-ecological system, Environment, Satoyama-index

農村計画学分野 高力 千紘

1. 研究の背景と目的

地域資源や生態系の持続的な利用や管理の課題は生態系システムと社会システムが密接に相互作用する社会生態学的システム(SES)として捉えることができる(Berke & Folke, 1998). 社会的価値と生態学的価値が共に高いSESホットスポットは、地域資源や生態系管理において重要な地域として考えられている (Alessa et al. 2008). 本研究では石川県能登地域9市町(珠洲市, 輪島市, 能登町, 穴水町, 七尾市, 中能登町, 志賀町, 羽咋市, 宝達志水町)を対象に、このSESの枠組を用いて①里地里山のSESホットスポットの抽出と、②住民属性によるホットスポット分布傾向の違いを明らかにする。

2. 研究方法

2.1 研究対象地

研究対象地である能登地域は、伝統的農業による持続的な土地利用や資源管理が評価され2011年にFAOの世界農業遺産(GIAHS)に認定されたが、今後一帯をどう保全していくか課題とされている。

2.2 研究の方法

本研究のSESホットスポット評価は、Alessa et al. (2008)の方法に一部修正を加え、以下の①～⑤の手順で実施した。

- ①景観価値アンケートによる社会的価値の評価
- ②点密度により社会的価値評価密度平面の生成
- ③Satoyama Index (SI)による生態学的価値の評価
- ④①と③の評価の空間的相関評価
- ⑤①と③よりSESホットスポットマップ作成

生態学的価値と社会的価値の評価方法については以下に概説する。

(1) 生態学的価値調査方法

生態学的価値の評価はKadoya & Washitani (2011)が開発したSatoyama Index (SI)により、生物多様性の代理指標として土地のモザイク性を評価した。SIは土地被覆の多様度からそのモザイク性を0~1の値で評価する方法で、SIが高いほど生息地の多様性が保持されていることが確認されている。本研究ではSIの評価に国土数値情報の土地利用細分メッシュ、標高傾斜度4次メッシュ、行政区域を使用した。

表1 アンケート実施結果

配布地域	能登地域	金沢市
配布数	800通	1846通
配布日	10月1日(火)~15日(火)	9月18日(水)
配布方法	行政職員・住民による配布、郵送の組み合わせ	郵送
締切日	10月24日(木)	10月9日(水)
回収率	1662通(208%)	138通(7.5%)

(2) 社会的価値調査方法

社会的価値評価は、能登の景観が持つ11の価値(美, 経済, レクリエーション, 生物, 学習, 精神, 歴史, 癒し, 文化, 供給, 生存基盤)について能登及び金沢市の住民を対象にアンケート調査を実施した(表1)。金沢市は近隣の人口集中地として対象とした。調査では、各景観価値について回答者が評価する地点に×印の記入と順位, 名称の記入を求めた。

回答結果の回収後、データをGIS(ArcGIS)により入力し、11の社会的価値それぞれについて、カーネル密度による密度面を求めた。この際用いた調査半径と出力セルサイズは、Alessa et al. (2008)をもとに、調査票地図の縮尺を考慮してそれぞれ5,000mと500mに設定した。密度値からのホットスポットの抽出もAlessa et al. (2008)をもとに、評価尺度の上3分の1の値を持つ地域とした。

3. 評価・分析結果

3.1 生態学的価値(SI)の評価結果

図1に2009年のSIの分布図を示す。能登全域にわたってほぼ均一に分布している。SIの低い地域は森林や田畑が広がり土地利用の均質化が進んでいる地域や、住宅地等に利用されている地域であった。

3.2 社会的価値の評価傾向

回答者の居住地別に11の社会的価値評価の分布の特徴を分析したところ、①回答者の居住地周辺に高い評価が集中しつつも、②主要なホットスポットは回答者の居住地を問わず共通性があることがわかった。この傾向は居住地ごとの評価市町の内訳や、市町間でのホットスポット分布の空間的相関が近隣市町との間で高いことから確認されている。

また、各社会的価値ホットスポットの面積と個数の関係を見ると、全体的に面積や個数の散らばりが少なく、評価が局所的に集中する傾向にあった。

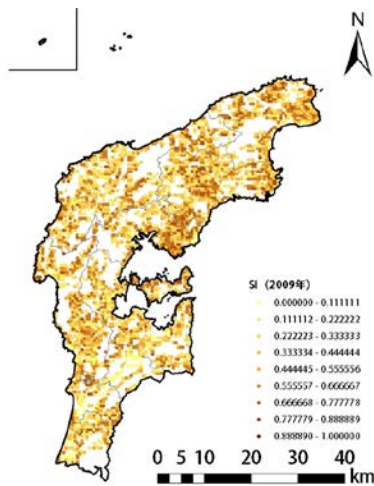


図1 Satoyama Index (2009)

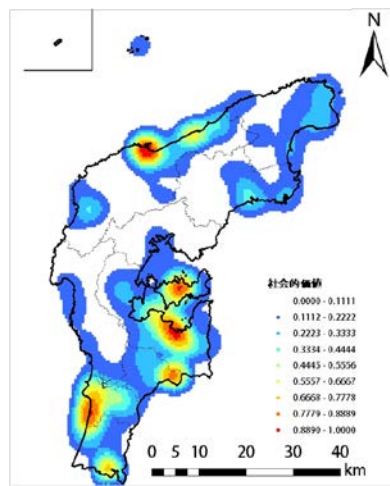


図2 社会的価値の合成指標

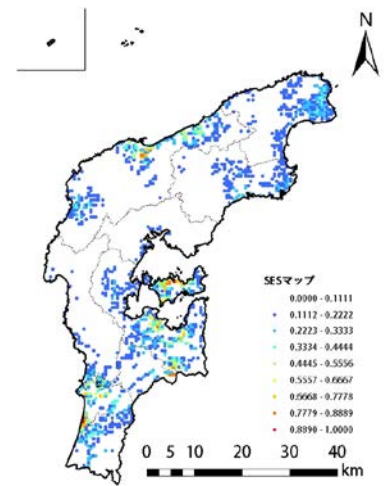


図3 SES マップ (SI×社会的価値)

3.3 社会的価値と生態学的価値の関係

社会的価値 11 項目を単純集計・標準化し、合成指標を作成した (図 2)。この合成指標と SI との相関分析を行ったところ相関は極めて低かった。これは、両者が能登地域の異なる空間的な価値を捕捉しているためである。実際、各価値の分布傾向を見ると、社会的価値の高い地域は沿岸部にいくつかの知名度の高い地点を中心として存在する。一方、生態学的価値は土地のモザイク性により規定されるため、その分布は微細な地形や土地利用の影響を受け、内陸部まで値の高い地域が万遍なく分布している。

3.4 SES ホットスポット

社会的価値評価の合成指標と生態学的価値評価結果である SI の積を取ることで、SES ホットスポットを把握した (図 3)。社会的価値、生態学的価値はそれぞれ能登半島の別の価値を捉える指標だが、両者の評価が共に高くなる地域も確かに存在する。SES のホットスポットとして重要な地域である。図 3 で SES は輪島市中心部や七尾市、羽咋市西部で高く評価されている。これらの地域は社会的価値の各カテゴリで評価の高い地域として頻出していた地域であり、合成指標化したことでその値がより強調されたものと考えられる。

4. 考察

4.1 社会的価値ホットスポットと居住地の関係

社会的価値評価の居住地による分布傾向の違いから回答者は自身の住む地域や関わりのある地域への関心や認知度は高いがそれ以外の地域については認識が曖昧で、ごく有名な地点以外は認知されていない可能性が示唆された。社会的価値の評価は、住民の主観的評価によるため、学術的には保全上重要と考えられるにも関わらず、住民による評価では見落とされている地域が存在する可能性が残る点には注意が必要である。

4.2 社会的価値ホットスポットの形状特性

社会的価値評価の分布傾向は、寺社や名所、旧跡、各種施設の立地と強く関係する傾向にある。既往研究では、精神性や癒しといった無形の価値は、その他の有形的な価値に比べ抽出が難しいとされていたが、本研究では異なる結果となった。能登地域には寺社や名所・旧跡、観光施設が多数分布しており、これらが既往研究では捉えづらかった無形の価値の捕捉を可能としたものと考えられる。これは能登地域の特徴の一つとして考えられる。

5. まとめ

本研究では能登地域における SES ホットスポットの抽出を行い、居住地によりホットスポットの分布は影響を受けることが明らかになった。一方で主要なホットスポットは回答者の居住地を問わず共通している。また、能登地域に多数存在する観光施設や寺社等を拠り所に評価が局所的に集中する傾向があり、特に無形価値を捉える上でその役割は大きい。社会的価値と生態学的価値の間に相関は見られなかったが、このことは SES ホットスポットが多角的な観点から地域状態の把握を可能とするという点で施策評価や計画作成等における有用性が見込まれる。

参考文献

- 1) Berkes F, Folke C, eds.. Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience. Cambridge, UK:Cambridge Univ. Press, 1998
- 2) Alessa, L., Kliskey, A., Brown, G., (2008): Social-ecological hotspots mapping: A spatial approach for identifying coupled social-ecological space, Landscape and Urban Planning 85, 27-39
- 3) Kadoya, T., and Washitani, I., (2011): The Satoyama Index: a biodiversity indicator for agricultural landscapes. Agriculture, Ecosystems and Environment 140, 20-26

紫外画像取得システムを用いた魚の目の死後経時変化測定*

Measurement of Postmortem Change in Fish Eye by Ultraviolet Imaging System*

Key words: UV Image, Fish Eye, *Tribolodon hakonensis*

生物センシング工学分野 白瀧 優莉

1. 背景および目的

水産物の鮮度は流通時の価格や利用加工法に大きく影響する重要な指標である。それ故、鮮度判定技術は水産物の流通に有用な技術であり、数時間単位で変化する魚の鮮度を、解凍魚、冷凍魚に関わらず、迅速簡便に非破壊で計測できる手法が求められている。

迅速簡便な非破壊計測の代表として、光学的手法があり、その中でも画像を用いる手法は広範囲の情報を含んでいるため、分光情報や魚の形状変化も一度に捉えられる。

近赤外画像、可視画像を用いた先行研究があるが、数時間単位の鮮度変化は計測できていない¹⁾²⁾。一方で、魚には紫外線を吸収、反射する物質が多く含まれており、これらの物質の死後変化を紫外画像を用いて計測できれば、鮮度の高精度で迅速簡便な非破壊計測が期待できる。また紫外領域は 400 nm 以下と定義される事が多いが、そのうち 300 nm 以下には水の吸収帯が存在する。魚の表面には多くの水分が付着しているため、300 nm 以下の紫外領域を使用すると、水分による吸収が大きく、反射情報を得ることができない。また一般的に約 280 nm に吸収極大を持つたんぱく質は魚の重要な構成要素であり、魚体に多く含まれている。そのため、表面水分と同様の理由で、反射情報を得られないことができない。よって本研究では 300 nm 以上の紫外領域を利用することとした。

上記をふまえ、本研究グループでは、365nm にピーク波長を持つリング LED と紫外領域にも感度を持つ CCD カメラを使用し、魚の全身の紫外画像を撮影した。その結果、時間・温度変化による目の輝度値の変化が大きかった。しかし、魚の全身を撮影の対象にしたため、目の解像度が低くなってしまった。そこで本研究では、魚の目に焦点を当てた紫外画像取得システムを構築し、温度・時間に対する魚の目の輝度値の死後変化の計測を行い、紫外画像と鮮度の関係性を探った。

2. 供試試料および実験方法

供試試料としては全長 10~15 cm のウグイ

(*Tribolodon hakonensis*)を 4 匹用いた。貯蔵温度は 4 °C と 20 °C に設定し、貯蔵温度が 4 °C のウグイを fish1, fish2, 20 °C のウグイを fish3, fish4 とした。照度の誤差を補正するためのリファレンスは白いスポンジとした。

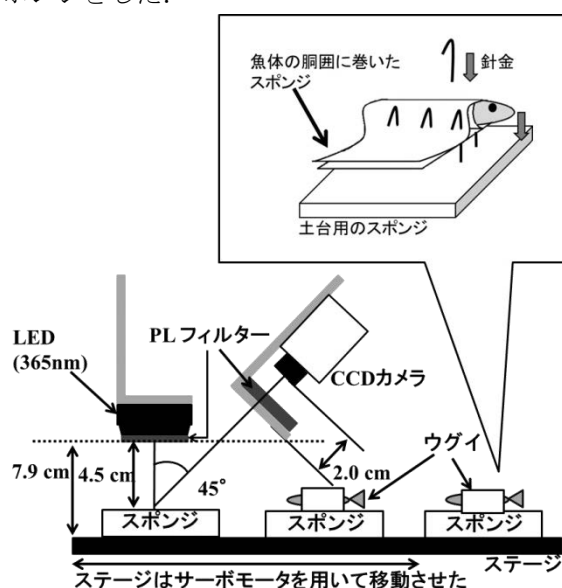


図1 撮影装置の概要

実験装置を図1に示す。365nm にピーク波長を持つリング LED で被写体を照射し、紫外領域にも感度をもつ CCD カメラ(8 bit 画像を出力)で撮影を行った。カメラとリング LED はハレーションを抑えるために PL フィルタを装着し、ワーキングスペースを残して出来る限り被写体に近づけた。また魚の死後 1 時間から 25 時間まで 2 時間おきに撮影を行った。被写体を載せたステージはサーボモーターに固定し、被写体が撮影時間になると撮影位置にくるように移動させた。

装置全体を黒い布で覆い、リング LED の光以外の光が入り込まないようにした。さらに乾燥による目の陥没やテクスチャの変化を抑えるために、装置全体を黒い布の上からビニール袋で覆い、その中に温水を入れた容器を設置した。

魚を固定するために、まず厚さ 5 mm 程度のスポンジを、魚体に密着するように魚体胴囲に 2 周巻いた。次に土台用のスポンジ上での魚の位置を決定し

*農業食料工学会関西支部報第 116 号に一部掲載

た。この際、画像中の魚の目に輝度値が飽和する領域がなるべく生じないようにした。ここで、直径 1 mm、長さ約 5 cm 程度の針金を魚一匹につき 6~8 本準備し、それらの先端約 1 cm を図 1 のように折り返す。この針金を、魚の輪郭に沿って魚体に巻いたスポンジに刺していき、飛び出た部分を土台用のスポンジにさした。魚体に巻いたスポンジおよび土台用のスポンジは、魚の水分を吸収しないように湿らせた。

3. 結果および考察

撮影した画像を図 2 に示す。虹彩部分(白目部分)の輝度値が高くなっている事が分かった。そこで、虹彩部分の平均輝度値の推移を図 3 に示す。

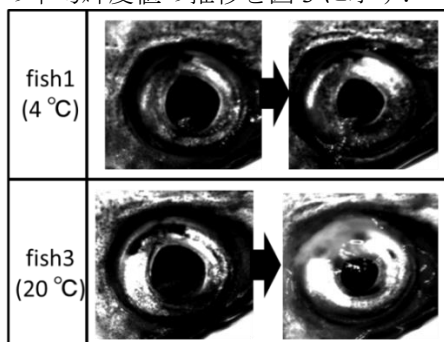


図 2 画像の一例(死後 1 時間→25 時間)

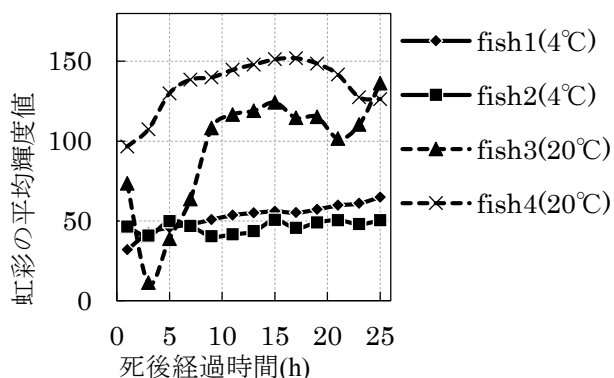


図 3 虹彩の平均輝度値の推移

fish4 のみ、死後 3 時間後に平均輝度値の比較的大きな低下がみられるが、これは魚の目が死後 3 時間後に、回転し影が生じたためである。

また 20 °C 下の魚は死後 15 時間後まで急激に輝度値が高くなり、その後低下し、再び増加するという現象が見られた。一方、4 °C 下の魚では変化量が小さいか、比較的なだらかに増加する現象が観察された。

20 °C 下の魚の虹彩部分の輝度値が高くなった原因として、黒色素胞の挙動が考えられる(図 4)。黒色素胞内の色素顆粒は紫外線吸収物質であるメラニンを含み、この色素顆粒が黒色素胞内で収縮拡散する事で、紫外線を吸収する面積が増減する。

20 °C 下では色素顆粒が死後 15 時間かけて収縮するため輝度値が高くなり、その後鮮度の低下にともなう角膜のくすみが顕著となったため輝度値が低くなったと考えられる。一方 4 °C 下では死後 25 時間後も色素顆粒の収縮が比較的遅く継続していたのではないかと考えられる。

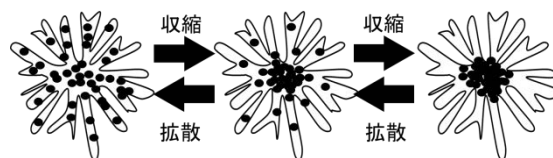


図 4 黒色素胞の変化(●は色素顆粒)

また図 3 より虹彩部分の平均輝度値の初期値にはばらつきがあることが分かる。これは魚の大きさや形状の固体差により、リング LED、カメラと魚の目の距離や角度が個体ごとに異なるためであるためと考えられる。また本研究で使用したリング LED による照度むらも、初期値のばらつきが大きくなった要因として考えられる。リング LED、カメラと魚の目の位置関係を固定するための改良が必要である。

4. 結言

本研究では、魚の目に焦点を当てた紫外画像取得システムを構築し、温度、時間に対する魚の目の輝度値の死後変化の計測を行った。その結果、貯蔵温度が高いと虹彩の輝度値は高くなった後減少し、再び増加した。貯蔵温度が低いと虹彩の輝度値は比較的ゆるやかに増加し続けるか、もしくは輝度値変化量が小さくなるという現象が見られた。温度、時間に対する魚の目の輝度値の死後変化が見られ、紫外画像と鮮度の相関が示唆された。

今後の予定としては、実験系の改善とともに、虹彩の輝度値が増加した理由の調査として、黒色素胞の魚の死後変化についての調査を進める予定である。

参考文献

- 1) Khojastehnazhand, M., Khoshtaghaza, M.H., Mojaradi, B., Rezaei, M., Goodarzi, M.W., Saeys, W.(2014) : Comparison of Visible-Near Infrared and Short Wave Infrared hyperspectral imaging for the evaluation of rainbow trout freshness, Food Research International, 56, 25-34.
- 2) Nilsen, H., Esaiassen, M., Heia, K., Sigernes, F. (2002) : Visible/Near-Infrared Spectroscopy : A New Tool for the Evaluation of Fish Freshness, JOURNAL OF FOOD SCIENCE, 67, 1821-1826.

液状化対策への撥水砂の利用

Application of Hydrophobic Sands to Prevention of Liquefaction

Key words: Liquefaction, Hydrophobic sand, Centrifuge modeling

施設機能工学分野 菅野 高弘

1. はじめに

東日本大震災では震源から遠く離れた地域にまで地盤の液状化現象による被害が発生した。人々の生活に大きな影響を与えるために対策が必要とされる従来の液状化対策としては、それぞれ強度や経済性に何かしらの課題が生ずる。そこで撥水砂を用いた新しいアプローチで液状化の被害を防ぐ又は最小に抑える方法を見つけることを目標とした。

撥水砂は名前の通り水をはじく効果を持つが、そこには必ず耐水圧が存在する。その耐水圧を超えたときに水は撥水砂の中に流れ込む。この原理を利用し、液状化地盤における過剰間隙水圧の上昇を抑えることで液状化を防ぐ可能性について調べる実験を行った。

2. 実験概要

液状化が懸念される地盤において、撥水砂の使用により土中の過剰間隙水圧を抑えることを試みた。実験は京都大学宇治キャンパスの防災研究所、遠心载荷実験室において行った。諸設定を以下に列挙する。

- ・ 実験は全て 10G 場で行う。
- ・ 土層の寸法は縦 15 cm、横 45 cm (加振方向)、高さ 30 cm である。
- ・ 地盤材料は通常部に豊浦砂を空中落下法により充填していき、相対密度 $D_r = 15\%$ 程度になるようにした。
- ・ 地盤は通常の水の 10 倍の粘性である 10 cstc の粘性水で飽和し全層を液状化層とした。
- ・ 入力波は片振幅 1 mm、周波数 12 Hz、繰返し回数 36 回の正弦波とした。
- ・ 用いた撥水砂は耐水圧 20 cm のもので、通常地盤に用いる豊浦砂に撥水性のコーティングを施しものである。

10G 場では土層内部の距離は 1G 場に換算した場合 10 倍になる。

撥水砂を図 1, 2 のように埋め込んだ地盤を作成した。また通常豊浦砂のみの地盤と比較を行い、撥水砂の効果を検証した。

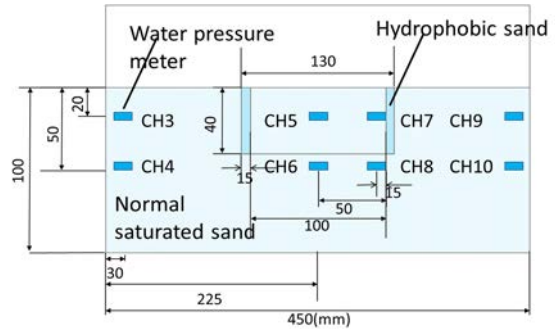


図 1 土層 (立面図)

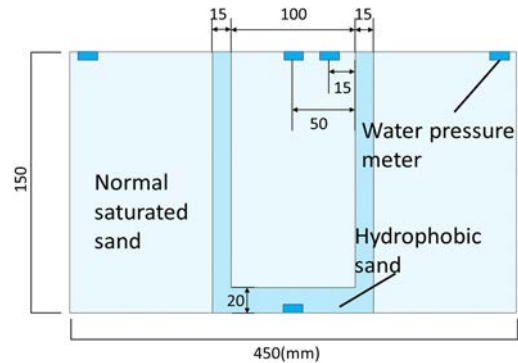


図 2 土層 (平面図)

3. 実験方法

以下に遠心载荷実験の手順を記す。

- ① 土層内のポイントに印をつけ、両面テープとガムテープを用いて水圧計を固定し、土層内部に水圧計を設置した。
- ② 豊浦砂を空中落下法で充填していき地盤を作成する。相対密度は 15% を目標とした。これは撥水砂に水が浸入するには加振時から少しの遅れを生じるため、相対密度の大きい地盤 (締め固まった) だと水が撥水砂に浸入する前に地表面へと上がってしまうことによる。
- ③ 撥水砂を入れる際は、アクリル板で作成した仕切りを用い、豊浦砂と混ざることのないよう充填した。
- ④ 振動台に設置後、各計測器をチャンネルにつないだ。遠心载荷装置を起動後、遠心力が 10G に達すると振動台を加振、水圧の変化を計測した。

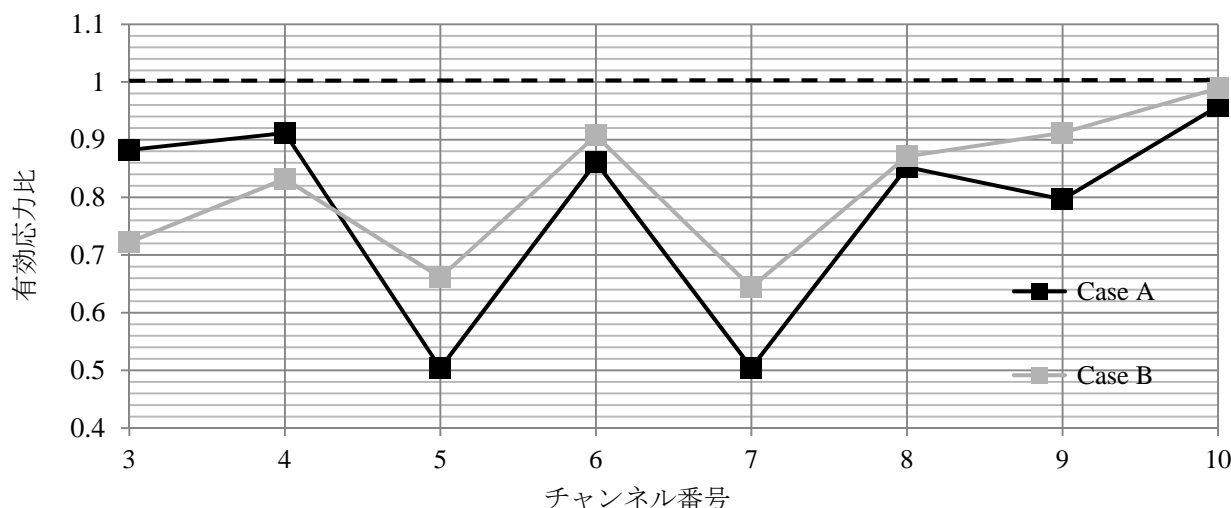


図3 Case A と Case B の有効応力比の比較

4. 実験結果と考察

本実験における結果の整理には有効応力比を用いる。有効応力比 N は以下の式で表される。

$$N = \text{発生過剰間隙水圧 } U / \text{有効応力 } \sigma$$

分子の水圧 U には観測値 (10G 時の平均水圧に加振時の最大発生水圧を足したものを)、分母の有効応力には、地盤作成に用いた砂の飽和単位体積重量 γ_{sat} に各深度を乗じて算定した。

また水圧計から得られる値は、遠心力により水面が湾曲した形になるため中央から離れるほど大きな値を示す。そのためアーム半径と水面の変化から補正值導き、それを各水平距離に応じて乗じたものを有効応力に用いた。

Case A は撥水砂を埋め込んだ土層、Case B は豊浦砂のみの土層である。計測された有効応力比の最大値を図3に示す。縦軸に有効応力比、横軸がチャンネル番号を示す。

水深 5cm (1G 場では 50cm) での有効応力比は Case A, B ともに大きな違いは見られない。このことから撥水砂の耐水圧を大きく上回る深さの地盤ではそれほど効果を見込めないことが予想できる。次に水深 2cm (1G 場では 20cm) では N の値に違いがみられる。特に CH5, 7 は撥水砂の壁面で囲んだ地盤の状態を示し、Case B と比べると Case A は小さな N の値を示している。これは加振開始後に撥水砂の中に水が流れ込むことにより、撥水砂で囲まれた地盤に発生する過剰間隙水圧が緩和されたためであると考えられる。また CH5 と 7 は撥水性砂の壁面からの水平距離を変化させた位置に設置しているが、若干ではあるが壁面に近い CH7 のほうが小さな N 値を示している。このことより将来的に実際液状化対策に用いる場合は、建物構造物の周りを撥水砂で囲むことが効果的であると考えられる。

5. 結論

本研究では液状化対策における撥水砂の効果について検証した。遠心載荷実験では撥水砂を埋め込むことにより、発生する過剰間隙水圧を抑える効果があることが確認できた。このことから撥水砂を適切に配置することで、液状化が及ぼす影響を抑える効果が期待できる。しかし現在作成可能な撥水砂の耐水圧では住居構造物に適用するにはその能力が十分でなく、実用化までには撥水性砂の効果において、(1) より実地盤に近い遠心載荷実験を可能にするための耐水圧の増加、(2) より相対密度の高い地盤 (現実に近い) での再現性を可能にするための、耐水圧を超える際の水の浸入速度の調整、が必要であると考えられる。今後撥水砂の改良と共に地盤工学に対する撥水性砂の効果をさらに追及していくことが望まれる。

参考文献

- 1) 古関 潤一, 龍岡 文夫 (1995) : 地盤工学における遠心力載荷実験 生産研究, pp. 405-412.
- 2) 鈴木弘敏, 中橋貞雄, 岸野敬行 (2001) : 動的遠心載荷模型実験装置を用いた盛土地盤に対する加振実験. こうえいフォーラム, 第9号.
- 3) 久志本 直人, 本間 重雄: 液状化における発生過剰間隙水圧に及ぼす地盤加速度の影響について (URL: <http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00061/2005/32-03-0157.pdf#search=Dr%3D10%25+%E7%9B%B8%E5%AF%BE%E5%AF%86%E5%BA%A6>) .
- 4) 谷崎 史織, 宇野 浩樹, 立石 章 (2007) : 液状化土の粘性抵抗に着目した浮上がり遠心模型実験, 大成建設技術センター報, 第40号.
- 5) 内田 明彦, 田村 修次, 大島 快仁, 藤森 健史, 船原 英樹 (2009) : 軟弱地盤における杭基礎の水平抵抗に関する動的遠心載荷実験とブラインドテスト日本建築学会技術報告集, 第15巻, 第31号, 713-718.
- 6) 美濃 規央, 長光 佐千男, 脇田 由実, 山田 修, 田尾 本 昭, ジョン ステファン (2012) : 撥水砂技術の開発と応用, Panasonic Technical Journal, Vol.58, No.2.

非円形断面間隙ネットワークモデルを用いた飽和透水係数の推定

Estimation of Hydraulic Conductivity Using Pore Network Model with Non-circular Cross-section

Key words: Porous media, Darcy-Weisbach equation, Hydraulic diameter

水資源利用工学分野 住居 航

1. はじめに

人類の生活基盤である水資源の開発と利用は、近年の急激な人口増加に伴う食糧生産のための農業用水需要の増加に加え、工業などの産業分野の需要の増加もあり、ますます重要な課題となっている。農業分野において、各生産地域の環境に合わせた長期的視野での管理型の水利用が今後の水資源の有効利用を達成する一方法であり、そのためには土壌の水理特性を明らかにすることが必要となる。

これまでマクロな視点での透水係数に関する研究がなされ¹⁾、一方で近年の計算機器や数値解析手法、実験観測機器の発達によりミクロな視点での研究も行われるようになってきているが、これら両者をつなぐ中間的なスケールのモデルとして間隙ネットワークモデルがある^{2,3)}。間隙ネットワークモデルは多孔質媒体中の土壌粒子の非接触部により形成される間隙を管水路網としてモデル化したものであり、このネットワークモデルを用いて土壌などの多孔質媒体について、その間隙中での水や溶質の動態に関する研究が数多くなされている^{2,3)}。

本研究の基礎となるのは、井尻ら(2012)⁴⁾による円形断面をもつ立方格子型間隙ネットワークモデルを用いて、疎水性粒子を含む多孔質媒体の水理特性の推定を行った研究である。この中では、流量を未知変数とし、分合流点での質量保存則を制約条件、全エネルギー損失を表す汎関数を目的関数として、系内の水の流れを定式化した。そして、汎関数の最小化問題をラグランジュ未定乗数法で求解し、断面流量から飽和透水係数を算定している。また、竹内ら(2013)⁵⁾によると、水分保持特性に関して、アステロイド型の断面をもつ毛管束モデルの有用性が示されている。ここでは、粒子が構成し得る間隙の輪郭により近づけるため、三角形や四角形などの断面形状をもつ間隙ネットワークモデルに改良し、数値実験を行うことにより飽和透水係数に与える影響について解析する。

2. 非円形断面の導入

間隙の断面形状に円形を仮定しない場合は、円管の直径 d に代わり、水力直径 $d_h (= 4A/P, P$ は潤辺, A は断面積)を用いることにより、Darcy-Weisbach の摩擦損失水頭式は以下のように表される。

$$h_L = f \frac{L}{d_h} \frac{q|q|}{2gA^2} \quad (1)$$

ここで、

$$f = \frac{\alpha}{R_e}, R_e = \frac{|q|d_h}{\nu A} \quad (2)$$

であり、 f は摩擦損失係数であり、管内の流れは層流を仮定している。また、 L は管の長さ、 q は流量、 g は重力加速度、 R_e はレイノルズ数、 ν は動粘性係数、 α は断面形状によって決まる定数である。

断面形状として、図 1 に示すように円管のほかに 4 つの形状を想定する。ここで、各断面に対して代表長さを (1)円形断面:半径、(2)正方形:辺長、(3)正三角形:辺長、(4)四尖点形:構成円の半径、(5)三尖点形:構成円の半径のように定める。また、各形状に対する定数 α は既往の研究^{6,7)}における任意断面形状の数値解析結果から得られた値を用い、円形断面は 64.0、正方形と四尖点形断面は 56.9、三角形と三尖点形断面は 53.3 とする。

間隙ネットワークにおける流れは、井尻ら(2012)⁴⁾と同様に全エネルギー損失に関する汎関数の最小化問題を解くことによって求解し、多孔質媒体の断面流量より飽和透水係数を算出する。

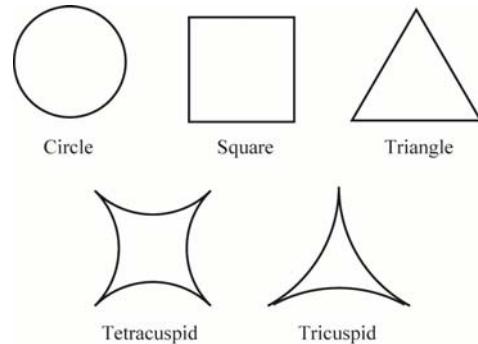


図 1 様々な断面形状

3. 断面形状の影響解析

図 2 に示すような立方格子型の間隙ネットワークモデルを用い、対象試料は粒径 0.2mm の球形のガラスビーズを想定する。したがって、格子間隔を 0.2mm とし、格子サイズは 10x10x12 とする。毛管の断面積は正規分布に従うと仮定し、Box-Muller 法で生成する。断面形状に

加え、断面積の平均 A_{mean} と標準偏差 $A_{\text{std}} (= \beta A_{\text{mean}})$ 、 β は係数)を変化させたときに算出される透水係数の値と実測値との比較を行う。

計算例として格子サイズが $5 \times 5 \times 7$ で、鉛直方向の動水勾配が 1、 $A_{\text{mean}} = 2.83 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$ 、 $\beta = 0.0$ と 0.6 のときの間隙ネットワークにおける流量の分布を図 2 に示す。これらより、標準偏差が 0 となる $\beta = 0.0$ のときは鉛直方向に一様に流れ、水平方向にはほとんど流れないことが分かる。また、 $\beta = 0.6$ のときは、断面積が大きい毛管を選択的に流れていることが分かる。

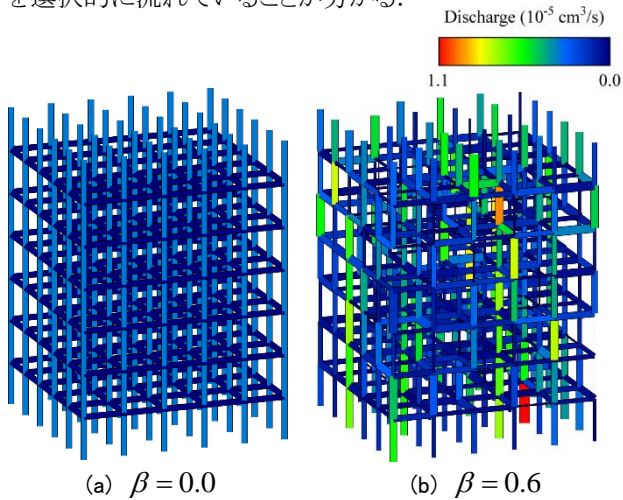


図 2 流量分布

次に、算出された飽和透水係数を図 3 に示す。また、図 3 の横軸の断面積に対応する水力直径と代表長さをそれぞれ表 1、表 2 に示す。図 3 からは、(1) 同一断面積において水力直径(表 1)に応じて透水係数の大きさが決まること、(2)断面積が大きくなると、透水係数も大きくなること、(3)断面積の標準偏差を大きくすると透水係数のばらつきも大きくなること分かる。

また、定水位法で測定された対象試料の透水係数は $1.91 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ であり、円形や正方形、正三角形断面で透水係数が 10^{-2} cm/s のオーダーになるのは、断面積が $7.85 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$ のときである。一方、四尖点形や

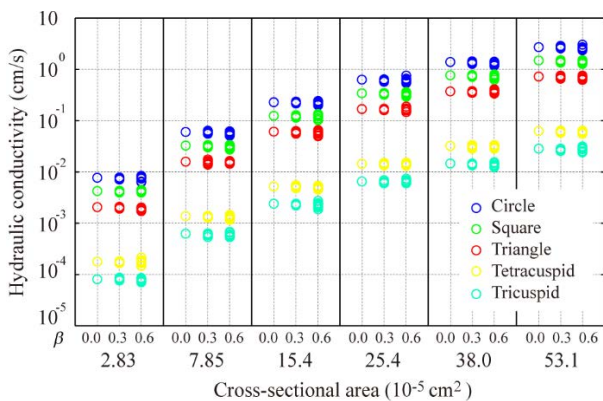


図 3 透水係数

表 1 水力直径 (10^{-2} mm)

A (10^{-5} cm^2)	2.83	7.85	15.4	25.4	38.0	53.1
円形	6.00	10.0	14.0	18.0	22.0	26.0
正方形	5.32	8.86	12.4	16.0	19.5	23.0
正三角形	4.65	7.75	10.8	13.9	17.0	20.0
四尖点形	3.14	5.23	7.32	9.41	11.5	13.6
三尖点形	2.72	4.53	6.34	8.16	9.97	11.8

表 2 代表長さ (10^{-2} mm)

A (10^{-5} cm^2)	2.83	7.85	15.4	25.4	38.0	53.1
円形	3.00	5.00	7.00	9.00	11.0	13.0
正方形	5.32	8.86	12.4	16.0	19.5	23.0
正三角形	8.08	13.4	18.9	24.2	29.6	35.0
四尖点形	5.27	9.57	13.4	17.2	21.0	24.9
三尖点形	13.2	22.1	30.9	39.8	48.6	57.4

三尖点形では断面積が $38.0 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$ のときである。

さらに、間隙率 ϕ と円管半径 r の関係 ($r = \Delta l \sqrt{\phi/3\pi}$ 、 Δl は格子間の長さ)を用いると、 $\phi = 0.38$ (実測値)、 $\Delta l = 0.2 \text{ mm}$ (粒子径)のときの断面積は $5.07 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$ となる。このとき、透水係数が 10^{-2} cm/s のオーダーになるのは円形、正方形断面であり、三角形断面は 10^{-3} cm/s 、四尖点形、三尖点形は 10^{-4} cm/s のオーダーとなる。

4. まとめ

多孔質媒体の飽和透水係数を推定するための間隙ネットワークモデルに対して、毛管に非円形断面を導入した。計算結果より、同一断面積において潤辺の長い(水力直径の小さい)断面形ほど透水係数は小さくなることが示された。また、実測した間隙率との整合性から円形、正方形断面が適切と考えられる。

参考文献

- 1) Van Genuchten (1980): A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 892-898.
- 2) Fatt (1956): The network model of porous media, *Petroleum Transaction, AIME*, 207, 144-181.
- 3) Reeves and Celia (1996): A functional relationship between capillary pressure, saturation, and interfacial area as revealed by a pore-scale network model, *Water Resour. Res.*, 32, 2345-2358.
- 4) 井尻, 竹内, 藤原 (2012): 間隙ネットワーク流れを考慮した透水係数の推定, 平成 24 年度応用水理研究部会講演集, 92-93.
- 5) 竹内, 北村, 藤原 (2013): 気液界面の曲率を考慮した毛管束モデル, 平成 25 年度応用水理研究部会講演集, 120-125.
- 6) Shah (1974): Laminar flow friction and forced convection heat transfer in ducts of arbitrary geometry, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 18, 849-862.
- 7) Muzychka and Yovanovich (2009): Pressure drop in laminar developing flow in noncircular ducts. -A scaling and modeling approach-, *J. Fluids Eng.*, 131, 111105, 1-11.

Wind-induced flow analysis for shallow closed water bodies using a horizontally two-dimensional Finite Element/Volume Model

(水平 2 次元有限要素体積モデルに基づいた閉鎖性浅水域の吹送流解析)

Key words: Wind-induced flow, Vegetation, Shallow water equations

Water Resource Engineering Kenji Takagi

1. INTRODUCTION

Analysis of flows in shallow and closed water body such as agricultural ponds and freshwater lagoons plays important roles in understanding their water quality dynamics. Such water bodies are typically vegetated with aquatic plants which physically and biologically affect conditions of surface water bodies¹⁾.

Flows in shallow and closed water bodies are mainly wind driven whose dynamics is reasonably described by the depth-averaged horizontally 2-D shallow water equations (2-D SWEs)²⁾. This paper uses 2-D extended shallow water equations (2-D ESWEs) instead so that the vegetation effects into mass and momentum conservation laws are considered. The 2-D ESWEs are solved with the 2-D finite element/volume method (2-D FEVM)³⁾.

Despite water-environmental and ecological importance of vegetation in surface water bodies have been reported, only a few researches subjecting wind-induced flow in lagoons have been conducted.

In this paper, test cases for steady and unsteady wind-induced flows in non-vegetated basins are given, followed by those for steady wind-induced flows in a vegetated basin. Analysis for wind-induced flows in a particular fresh water lagoon associated with Lake Biwa is finally operated.

2. 2-D SHALLOW WATER EQUATIONS

The 2-D ESWEs on the Cartesian $x-y-z$ coordinates consist of the continuity equation

$$\phi_v \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(\phi_{Hx} p)}{\partial x} + \frac{\partial(\phi_{Hy} q)}{\partial y} = Q \quad (1)$$

and the momentum equations

$$\begin{aligned} \phi_v \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\phi_{Hx} \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\phi_{Hy} \frac{pq}{h} \right) \\ + gh \left(\phi_v \frac{\partial \eta}{\partial x} + \phi_v S_{fx} + S_{vx} \right) - \phi_v \frac{\tau_x}{\rho_w} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

and

$$\begin{aligned} \phi_v \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\phi_{Hx} \frac{pq}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\phi_{Hy} \frac{q^2}{h} \right) \\ + gh \left(\phi_v \frac{\partial \eta}{\partial y} + \phi_v S_{fy} + S_{vy} \right) - \phi_v \frac{\tau_y}{\rho_w} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

where η is the water surface elevation, ϕ_v is the water fraction on the bed, (ϕ_{Hx}, ϕ_{Hy}) are the water fractions within the plane $x=x$ and $y=y$ respectively, $h=\eta-z$ is the water depth, τ_x and τ_y are the wind shear stresses on water surface. For brevity, p and q are referred to as the components of unit discharges⁴⁾. S_{fx} and S_{fy} are the friction slope terms given by the hydraulic radius-based Manning's formulae. The terms S_{vx} and S_{vy} referred to as the drag slope terms, represent the momentum losses due to the existence of vegetation which are represented following the quadratic type formulae⁵⁾.

The 2-D ESWEs are solved with the 2-D FEVM which applies the standard Galerkin FEM scheme to the continuity equation (1) and an upwind, cell-centered FVM to momentum equations (2) and (3).

3. NUMERICAL SIMULATIONS

3.1 Steady wind-induced flow in a circular basin

A benchmark problem for a steady wind-induced flow in a circular lake is firstly performed. The bathymetry of the lake is bowl-shaped and its radius is set as 194 (m). The friction slope terms are given by the logarithmic type law⁶⁾. **Fig.1** shows the depth-averaged velocity distribution along the centerline $x=0$, with its wind shear stresses of $(\tau_x, \tau_y) = (0.02, 0)$ (N/m²). The figure shows that the numerical solution obtained with the 2-D FEVM model is as sharp as that of the second-order Godunov type model, indicating that the present model involves less numerical viscosity than the first-order model.

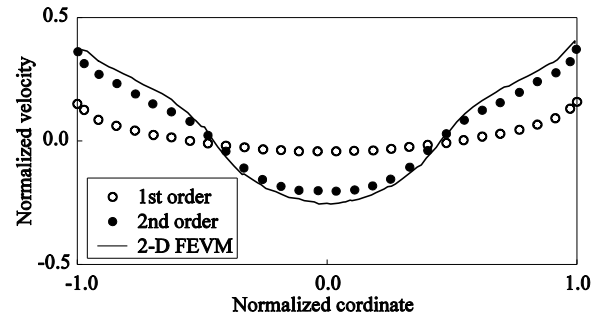


Fig.1 Comparison of the depth-averaged velocity

3.2 Unsteady wind-induced flow in a rectangular basin

Test cases for unsteady wind-induced flows in a rectangular basin⁷⁾ are performed. It has a length of 10 (km) and a breadth of 14 (km), and its topography is

horizontal. The shear stresses are set as

$$(\tau_x, \tau_y) = \tau_0 (\cos(\sigma t) \sin(\alpha), \cos(\sigma t) \sin(\alpha)) \quad (4)$$

where τ_0 is the magnitude of the wind shear stress, σ is the frequency of the wind forcing, and α is the angle prescribing the wind direction. Varying the input parameters of the still water depth, asymptotic and computed water depth at the specified points in the domain are compared. The computed solutions agree well with the asymptotic counterparts for the cases with the deeper water depth.

3.3 Steady wind-induced flow in a vegetated basin

Numerical simulations of steady wind-induced flows in a circular lake with vegetation are conducted. Geometry, wind speed and wind direction are same with the analysis conducted in section 3.1. Due to the symmetry of the flow between north-south directions, only the northern half of the lake is set as the computational domain. Five different cases for the vegetation distributed areas are considered including a case with no vegetation. **Fig.2** shows the flow field for a case with vegetation area in the western half. The computed results show that the average velocity and the maximum surface elevation difference for the case with no vegetation was larger than those of the vegetated cases. From this fact it is concluded that vegetation area attenuates the velocity fields and reduces water surface gradient.

4. APPLICATION OF WIND-INDUCED FLOW ANALYSIS TO A FRESHWATER LAGOON

Wind-induced flow in Nukegawa lagoon, a freshwater lagoon associated with Lake Biwa, is analyzed. Wind speed and direction data for the typhoon Man-yi, the 18th typhoon of 2013 observed at the AMeDAS observation station of Imazu (September 15th 0:00 to 16th 24:00) is used. Wind shear stresses on the water surface is estimated based on the bulk equation. Flows in Nukegawa lagoon is simulated by varying the parameter of the water fraction ϕ_v . **Fig.3** shows the flow field of Nukegawa lagoon for

the case for the water fraction of 0.96 at peak wind speed. The results for the average velocities and maximum surface elevation differences well show that higher density of the vegetation leads to higher ability of attenuation of the velocity fields and reduction of fluctuations of water surface in the water bodies.

5. CONCLUSIONS

Numerical simulations of steady and unsteady wind-induced flows in ideal basins and those of a lagoon have been performed. The results well show the 2-D FEVM's applicability to those wind-induced flows, as well as the vegetation's attenuation ability against the flow fields and reduction ability against the fluctuation of water surface.

REFERENCES

- 1) Su, T.M., Yang, S.C., Shih, S.S. and Lee, H.Y. (2009) : Optimal design of hydraulic efficiency performance of free-water-surface constructed wetland, *Ecol. Eng.*, **35**(8), 1200-1207.
- 2) Csanady, G.T. (1973) : Wind-induced barotropic motions in long lakes, *J. Phys. Oceanogr.*, **3**(4), 429-438.
- 3) Yoshioka, H., Unami, K. and Fujihara, M. (2014) : A finite element/volume method model of the depth averaged horizontally 2-D shallow water equations, *Int. J. Numer. Methods Fluids*, (in press).
- 4) Cea, L. and Vázquez-Cendón, M.E. (2010) : Unstructured finite volume discretization of two-dimensional depth-averaged shallow water equations with porosity, *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, **63**(8), 903-930.
- 5) Wu, W. and Marsooli, R. (2012) : A depth-averaged 2D shallow water model for breaking and non-breaking long waves affected by vegetation, *J. Hydraul. Res.*, **50**(6), 558-575.
- 6) Kranenburg, C. (1992) : Wind driven chaotic advection in a shallow model lake, *J. Hydraul. Res.*, **30**(1), 29-46.
- 7) McInerney, D., Teubner, M. and Noye, J. (2010) : A second-order analytic solution for oscillatory wind-induced flow in an idealized shallow lake, *Comput. Fluids*, **39**(9), 1500-1509.

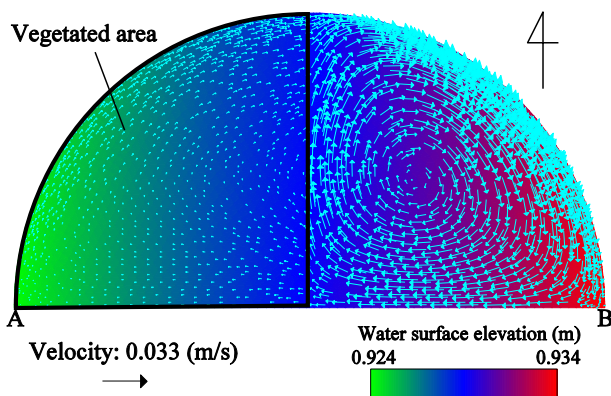


Fig.2 Flow field of the circular domain

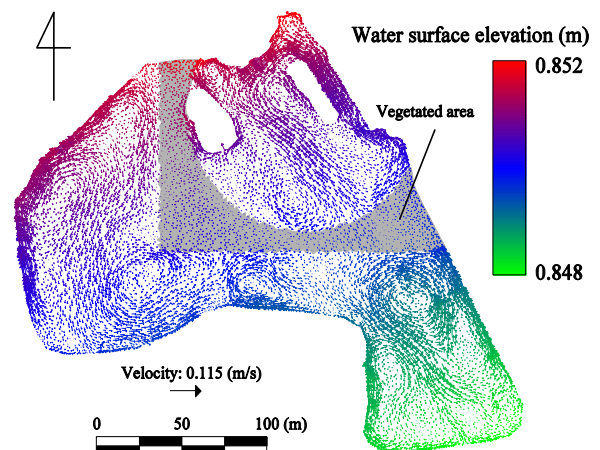


Fig.3 Flow field of Nukegawa lagoon

新潟県山北地域および山形県温海地域の焼畑と灰利用の生活文化

-文化を活用した地域づくりに向けた実態把握-

Livelihood culture of Sanpoku and Atsumi characterized by slash-and-burn farming and use of ash: toward cultural community building

Key words: Livelihood culture, Rural area, Regional resources

農村計画学分野 谷 悠一郎

1. 研究の目的

わが国の農村では近年、地域固有の生活文化（以下、文化）を「資源」として捉え地域づくりに活用する動きが見られつつある。この際に不可欠なのが文化の全容や存続状況の把握である¹⁾。本研究が対象とする新潟県村上市山北町・山形県鶴岡市温海地域には、焼畑や囲炉裏（現在は薪ストーブ）から出る灰を利用する文化が数百年にわたり残る。現在、山形県や村上市がこの文化の保存や、文化を活用した地域づくりについて検討を進めている。しかし本地域では焼畑に関する調査は行われたものの、焼畑や灰を利用した文化の詳細や地域的な広がりや残存状況は十分に明らかにされておらず、その全容把握が課題とされている。本研究では本地域での文化を活用した地域づくりに資するべく、①焼畑や灰の利用する文化の全容ならび②残存状況の地域性や、家族構成、世代による違いを明らかにする。

2. 研究対象地および研究の方法

2.1 対象地の概要

研究対象地は、新潟県村上市山北町地域の雷・山熊田・中継・小俣・大代および山形県鶴岡市温海地域の関川・越沢・小国・一霞の9集落である。この地域は寒冷地のため、現在でも多くの家庭が暖房に薪ストーブを利用する他、山林斜面での焼畑で栽培されるカブが特産品である。雷・山熊田・関川ではシナノキの樹皮を利用した織物「しな織」が行われ、経済産業省の伝統工芸品にも認定されている。

2.2 調査方法

本研究では、焼畑と灰利用の文化の全容を把握するため、行政担当者、商工会、住民等を対象とするヒアリング調査（2013年7月、9月、11月）と9集落全戸を対象とするアンケート調査（同12月）を実施した（配布458通、回収254通、回収率52.8%）。

3. 研究の結果

3.1 焼畑と灰利用の全容

ヒアリング、アンケートの結果、対象地域におけ

る焼畑や灰利用は、①従来この地域の林業と密接に繋がりを持っていたこと、②近年は多くの地域で林業が衰退したが、依然として焼畑や灰利用の文化は図1のような形で存続していることが把握された。

3.2 焼畑

焼畑は山林の木材を伐採し、その伐採した場所に8月に火を入れる。その後、カブの種をまき、10月から12月まで栽培し、収穫する。カブは動物が食べないため獣害がなく栽培中の労働力をあまり必要としない。収穫後は山北地域・温海地域のそれぞれで加工を行う公社・農協に出荷され、漬物となり販売される。対象地のうち一霞はカブの原産地であるため、出荷を行うとともにカブの種を確保する。また、収穫後の土地は植林を行う。

3.3 灰の利用

生活で利用される灰は、伐採した樹木を主に自宅の薪ストーブで燃焼することで得られるが、近所の人からもらう場合もある。スギの灰とブナやナラといった雑木の灰ではその質に差があり、多くの住民は灰の質の良し悪しを区別して用いている。

(1) 灰の料理への利用

灰の料理への利用では、灰をそのまま使うだけではなく、灰を水に溶かした灰汁あかじを用いて利用を行う。これらは、郷土料理である笹巻きちまきやとちもち、山菜や海藻への利用が行われる。灰を利用することで、長期的な保存が可能になるとともに色合いのよさ、苦味を取るといった効果が生まれる。

(2) 灰のしな織への利用

しな織ではシナノキの樹皮をやわらかくする際に灰をくわえて煮込む。このときに使う灰の量は料理に使う量よりも多く、大量の灰を必要とするため、現在でもしな織が行われている集落では薪ストーブを使用する割合が高い（全体の84%）。

(3) その他の灰の利用（図2点線部）

その他過去に使われていた事例として、融雪や肥料としての利用が見られた。

4. 焼畑および灰利用の残存状況と差異

4.1 灰の利用や焼畑の地域差

灰の生活への利用について集落別クロス集計

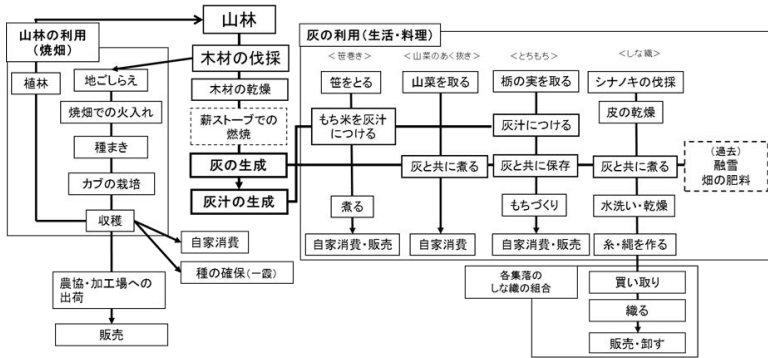


図1 対象地の資源利用の流れ

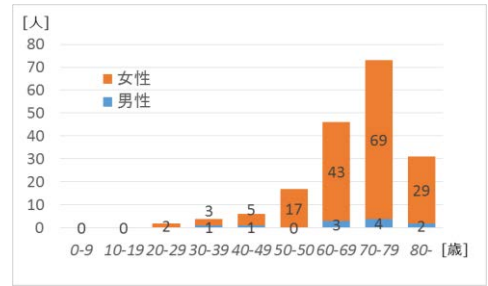


図2 灰を料理に利用する世代 (笹巻き)

と独立性の検定を行なった。しな織を行っている雷・山熊田・関川の3集落では全体の88.5%の世帯が灰を利用しており、他の集落の平均54.3%と比べて多い。他方、料理での灰の利用は各集落で60%以上が実践しており、集落間の差異は見られなかった。

焼畑については県別にクロス集計、独立性の検定を行った。焼畑を行う場所では、新潟側よりも山形側の集落で山林の斜面や田畑の法面で行う傾向が強い。また新潟側では焼畑後に植林し、地力回復するが、山形側では植林をせず数年間放置した後、再び草を伐採し焼畑を行う傾向も明らかとなった。

4.2 家族構成による違い

生活での灰の料理への利用、焼畑の実施と家族構成の関係についてクロス集計、独立性の検定を行った。灰の料理への利用の三世帯同居家族や夫婦のみの家族の場合、単身者・二世帯同居の家族よりも灰を料理に利用する傾向にあることを示せた(5%有意)。また、焼畑の実施については、単身者は焼畑を行わない傾向にあることが明らかとなった(5%有意)。理由としては、焼畑はその工程で伐採や火入れなど一人で行うには労働力の足りない部分が多いため、一人では行いにくいということが考えられた。

4.3 薪の使用の有無による灰の利用の有無

薪の生活での利用の有無と料理での灰の利用の関係についてクロス集計、独立性の検定を実施した。その結果、薪を生活で利用している家庭の82.4%が現在の生活で灰を利用する傾向にあることが把握された(0.1%有意)

4.4 灰を料理に利用する世代について

図2は郷土料理である笹巻きに灰を利用する世代である。灰を利用して笹巻をつくる世代は60代および70代で全体の60%を占め、逆に40代以下は全体の6%であることが明らかとなり、高齢者の利用が多い傾向にある。また、調理を行う人は女性が多い。他の灰を利用した料理でも同様の傾向が見られた。この一因として、回答者の年齢構成が60歳代・70歳代で全体の66%を占め、逆に40代以下が8%であったことが挙げられる。

4.5 しな織の工程の残存性

図1のしな織を織る工程は現在関川・雷・山熊田で残っている。他の地域でその前段階の工程が残存しているかを調べたところ、周辺の集落である越沢・大代・小俣では原料のシナノキを伐採・灰を利用して樹皮を煮る工程までが残存していることが明らかとなった。これらの集落ではかつて全ての工程が残っていたものの時代と共に、現在の工程に変容したことがわかった。

5. 結論

以上の議論より、本研究では、灰の利用や焼畑を行う生活文化は対象地域で存続している一方、その残存の割合は地域によって差が生まれていることが明らかとなり、特に山間部の集落ではよく残っていることが把握された。またこの文化は家族構成や世代によっても影響を受けることもわかり、特にこの生活文化を支える主要な世代は高齢者が多く、若い世代が支えている割合は少ないことも明らかとなった。県境を跨いで存続する生活文化という特性から、それぞれの県で異なった傾向があることもわかる。

生活文化の時代による変容の面で考えると、しな織が現在では行われていない集落でも、一部の工程は存続しているということがわかった。このように時代に適応した形で存続していることが示唆された。

本研究では対象地域の生活文化の実態を明らかにし、その生活文化の中でも地域や家族構成、世代によってどのような違いが生まれてきたか、どのようなものが存続したかを明らかにすることができた。

今後はさらに地域の文化が持続してきた背景を追うことで、地域の生活文化の保存への方策に資することを期待する。

参考文献

- 1) 日本の文化的景観 pp.17-25, 文化庁文化財部記念物課 (2005), 同成社

葉の輪郭解析による植物種同定

Plant species identification using leaf shape

Key words: *Elliptic Fourier Descriptors, Image processing, Random Forest*

フィールドロボティクス分野 永瀬 路久

1. 諸言

本研究は、世界中の植生マップを作ることを目的としているテラグリーンネットワークプロジェクトの一環として行う。植生マップの作成にあたっては、スマートフォンのカメラで撮影した葉の画像をサーバーに送付し、画像から樹木の種別を判別するとともに、樹木の位置情報と種別をサーバーに蓄積する、という手法を取ることを考えている。

種別の判別方法として、季節性の少ない葉を対象とし、輪郭を検出し形状の比較をする手法を取った。前年度の竹尾の研究^[1]で有効性の確認された楕円フーリエ記述子を用いてスキャン画像で識別モデルの作成と精度の確認を行い、そのモデルがスマートフォン画像でどこまで適用できるかを評価した。

2. 実験材料

2-1. 開発環境

C++ , Microsoft Visual C++ 2010 Express, OpenCV2.3 , Python2.7, Pyscripter2.5.3, NumPy1.7.1, OpenCV(Python)2.4.5 , R3.0.2 , Rstudio0.98.490 , randomforest(package)4.6.7 を用いた。また, GIMP2.8.8, Photoshop Elements 12 を用いて画像の編集を行った。

2-2. サンプル

サンプルは、京都大学北部キャンパス構内において、40 種 78 本の樹木から各 10 枚ずつ採取した。Platanaceae *Platanus* のみ同じ樹木で 3 種類の葉を持っていたため、それぞれ 10 枚採取した。

2-3. スキャン画像

凹凸のある葉のことを考慮して透明なガラス板で葉を上から押さえつけ、800dpi で葉の表側をスキャンした。スキャナは、EPSON 製 GT-920 を用い、スキャン総数は各樹木 10 枚ずつの計 799 枚だった。また、スキャン後に以下の前処理を行った。

- (1) 大きすぎて分けてスキャンした葉の合成
- (2) 葉柄の削除
- (3) 全ての葉が上を向くように整列
- (4) 縦横比を維持した状態での縮小
- (5) 左右反転画像の作成

2-4. スマートフォン画像

屋外のテーブルに白い下敷きを敷き、その上に葉を並べスマートフォン(SAMSUNG 製 SHV-E250S)で

撮影を行った。撮影総数は各樹木 5 枚ずつの計 399 枚で、画像の解像度は 72dpi だった。また、撮影後にスキャンにおける(2), (3), (4)の前処理を行った。

3. 実験方法

3-1. 二値化

楕円フーリエ記述子を求めるにあたって二値化画像が必要となるため、大津の方法^[2]を用いて閾値を求め、二値化を行った。

3-2. 楕円フーリエ記述子

楕円フーリエ変換^[3]は、輪郭を x,y 平面に投影し、輪郭のなす曲面の x 座標と y 座標を、それぞれ弧長の関数としてとらえる方法である。

楕円フーリエ変換は以下の式で表される。

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{2n\pi t}{T} + b_n \sin \frac{2n\pi t}{T} \right) \quad (1)$$

$$y(t) = \frac{c_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(c_n \cos \frac{2n\pi t}{T} + d_n \sin \frac{2n\pi t}{T} \right) \quad (2)$$

このときの a_n , b_n , c_n , d_n が楕円フーリエ記述子であり、本研究では $n=32, 64, 128$ の 3 種類の波数で楕円フーリエ変換を行った。

3-3. Random Forest Classifier (RFC)

Random Forest^[4]は、精度が高くない複数の結果を結合、組み合わせることで精度を向上させる集団学習と呼ばれる手法である。アルゴリズムの流れを以下に示す。

- (1) データセットから n セットのサンプルを作成する。ただし、構築したモデルの評価のために約 $1/3$ のデータを取り除いておく。
- (2) サンプルから m 個の変数をランダムサンプリングする。
- (3) m 個の変数から未剪定の最大の決定木を作成する。
- (4) 決定木について、予め取り除いていたデータでテストを行い、その結果に基づいて新たに分類器を構成する。

RFC は主要なパラメータとして、作成する決定木の数($ntree$)と決定木の作成時に使用する特徴量の数($mtry$)を持ち、これらを専用の関数を用いてチューニングしていく。スキャン画像の判別においては、1118 枚をモデル作成に、残りスキャン画像 480 枚を

テストに用いる。また、スマートフォン画像の判別には、全てのスキャン画像をモデル作成に、全てのスマートフォン画像をテストに用いる。

4. スキャン画像結果

4-1. 二値化

スキャン画像においては背景が白色だったことで、輪郭のみを正確に抽出し二値化できた。

4-2. 楕円フーリエ記述子

一部の画像にはノイズが混じっていたが、最長の輪郭を抽出する形式にしたことで葉の輪郭のみを正確に抽出することができた。

4-3. Random Forest Classifier (RFC)

それぞれの波数において3回ずつ識別を行い、波数ごとに正答率を平均すると表1のようになった。なお、種類の識別を正しくした割合を正答率とする。

表1 スキャン画像の RFC 結果

	波数 32	波数 64	波数 128
1 回目	89.6	86.9	85.8
2 回目	92.1	86.7	79.4
3 回目	88.1	87.5	79.8
平均	89.9	87.0	81.7

スキャン画像においては全ての波数において正答率が80%を越え高い結果となった。また、波数32がRFCにおいては最も正答率が高くなった。

5. スマートフォン画像結果

5-1. 二値化

スマートフォン画像においては背景が完全な白ではなかったものの、多くの場合は正確に輪郭のみを抽出できた。しかし葉を押さええていなかったことで、凹凸のある葉において影ができ、一部の葉で影を輪郭として誤検出してしまっていた。

5-2. 楕円フーリエ記述子

多くの画像において葉の輪郭を正確に捉えていたが、一部においては影などの葉以外の部分も葉と同様に二値化していたことで、誤検出が生じた。

5-3. Random Forest Classifier (RFC)

4-3 節と同様に識別を行うと表2のようになった。

表2 スマートフォン画像の RFC 結果

	波数 32	波数 64	波数 128
1 回目	65.9	62.7	61.7
2 回目	65.4	62.7	60.9
3 回目	66.2	61.9	61.2
平均	65.8	62.4	61.2

スキャン画像においては正答率が60%以上と、スキャン画像に比べて20%ほど低くなった。波数は、スキャン画像同様32が最も正答率が高くなった。

6. 考察

表1, 表2から、RFといえども正確に特徴量を得られていない状況では高い結果を得られないことがわかった。二値化を正確に行うために、葉を押さえつける、日が高いうちに撮影を終えるなど影ができないように工夫することが重要である。また、正確に楕円フーリエ記述子を得るために、輪郭の長さではなく、輪郭によって囲まれる面積を基準にして適切な輪郭を検出するようにアルゴリズムを修正することが必要である。

今回はスキャン画像、スマートフォン画像ともに32が適切な波数となった。波数が大きいことでより詳細に葉を再現できるようになるはずであるが、それによって細かい特徴まで見すぎてしまい、結果として正答率を低下させる結果になっているのではないかと考えられる。

また、二値化が成功しているにも関わらず、輪郭が似ている種が存在したことで誤検出が多かった樹木も存在した。今後、より識別の精度を高めるためには、葉脈形状や葉の大きさなど、輪郭形状以外の要素を識別項目に加えていく必要がある。

7. 結言

葉の輪郭解析として、楕円フーリエ記述子とRandom Forest Classifierを用いて植物種の同定を行った。スキャン画像においては最高89.9%、スマートフォン画像においては最高65.8%の正答率であった。スキャン画像において識別が難しい樹木は、異なる種類による形状の差と同じ種類における個体差が同程度であることから、スキャン画像における正答率は上限近くに達しており、今後さらなる向上のためには輪郭以外の要素が必要であると考えられる。スマートフォン画像においては、撮影方法やアルゴリズムに関して改善の余地があり、スキャン画像の水準まで正答率が向上し得る。

参考文献

- 1) 竹尾優里(2013): 画像処理による植物の葉の判別: 京都大学農学部地域環境工学科卒業論文。
- 2) Nobuyuki Otsu (1979): A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms: *IEEE Trans. System, Man and Cybernetics*, vol. SMC-9, pp. 62-69.
- 3) Frank P. Kuhl, Charles R. Giardina(1982): Elliptic Fourier Features of a Closed Contour: *COMPUTER GRAPHICS AND IMAGE PROCESSING*, 18, 236-258.
- 4) Leo Breiman (2001): RANDOM FOREST: *Machine Learning*, 45, 5-32.

タイヤ空気圧のけん引性能への影響について*

Effect of inflation pressure on traction performance of a tire*

Key words: traction performance, tire, inflation pressure, soil bin

農業システム工学分野 西山 健太

1. 緒言

近年、農業機械や建設機械をはじめとするオフロード車両が世界中で利用されている。しかし、地球温暖化をはじめとする環境問題が深刻化しており、オフロード車両の排出ガス等もこの問題の一因である。そのため、従来よりも高効率、環境低負荷な車両の開発が求められている。本研究室では、篠根¹⁾²⁾によって、タイヤトレッドパターンのけん引性能への影響が実験により検証された。また、FE-DEMによるコンピュータシミュレーションも開発されている³⁾。

この問題は、タイヤトレッドパターン、タイヤ空気圧、土の特性など様々な要因を含んでおり複雑であるが、中でもタイヤ空気圧は、オフロードにおいて低空気圧タイヤのけん引性能が優位と言われているように、けん引性能を大きく左右するパラメータであり、容易に変更が可能である。今後、タイヤ選択を行う際に、走行予測を行い適切なタイヤ空気圧を選択することが必要となるだろう。

本研究の目的は、同じタイヤを通常空気圧・低空気圧の2種類の空気圧条件でタイヤの走行性能を取得し、タイヤ空気圧のけん引性能への影響を明らかにすることである。特に、タイヤの接触モード⁴⁾を、空気圧により剛体モード、弾性モードの2条件での走行性能の違いを明らかにすることを目標とする。

2. 実験方法

2.1 実験装置

土槽を有する室内単輪けん引力計測装置⁵⁾を使用した。この装置は、土槽に充填した土の上を滑り率を一定とした条件でタイヤを走行させるものである。走行前に、毎回土の攪拌・転圧を行い、路面を均質に整地する。また、タイヤと台車をそれぞれ別のモータで駆動することで滑り率を一定にできる。

2.2 計測項目及び評価指標

計測に用いたセンサは、ブリッジ回路を形成するひずみゲージによるけん引力センサ、トルクセンサ、走行距離・速度を計測するための変位変換器、タイヤの角速度計測用のロータリエンコーダ、車軸沈下

量を計測するためのレーザ距離計の5種類である。走行性能の評価指標は、けん引力 P 、推進力 H 、走行抵抗 R 、車軸沈下量 z 、けん引効率 η とする。推進力 H は車軸トルクをタイヤの転がり半径で除して求めた。

2.3 実験条件

タイヤにはスムースタイヤ、耕うん機用タイヤ、芝刈機用タイヤの3種類、土には乾燥したろ過砂を使用した。表1に実験条件の詳細を示す。

表1 実験条件

	スムース	耕うん機	芝刈機
空気圧 [kPa]	140, 60	140, 60	100, 50
接地荷重 [N]	980	914	912
タイヤ直径 [mm]	535	545	406
タイヤ幅 [mm]	170	126	165
滑り率	約0から45%の間で5段階		

3. 実験結果

図1に、けん引力、推進力、走行抵抗の実験結果を示す。図1(a)よりスムースタイヤについては、空気圧を下げることでけん引力が若干増加しているが、全体としてほとんど空気圧による影響は見られなかった。図1(b)の耕うん機用タイヤについては、空気圧による変化は見られなかった。また、グラフのばらつきがやや大きくなった。図1(c)に示した芝刈機用タイヤについては、空気圧を下げることによって、けん引力が増加、走行抵抗が減少し、推進力も若干減少した。

4. 考察

スムースタイヤ、耕うん機用タイヤにおいて、空気圧によるけん引性能への影響がほとんど見られなかったのは、接地荷重が小さく、どちらの空気圧とも剛体接触モードとなったことが原因と考えられる。

*農業食料工学会関西支部報第116号に一部掲載

また、耕うん機用タイヤについて、グラフのばらつきが大きくなったのは、タイヤ幅が狭くラグ間隔が大きいため、走行状態が安定しにくいことが原因と考えられる。

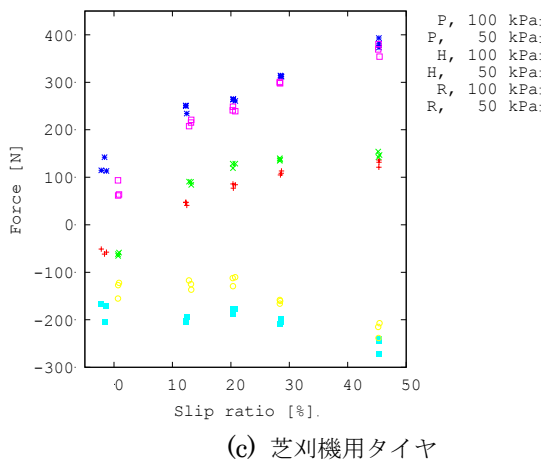
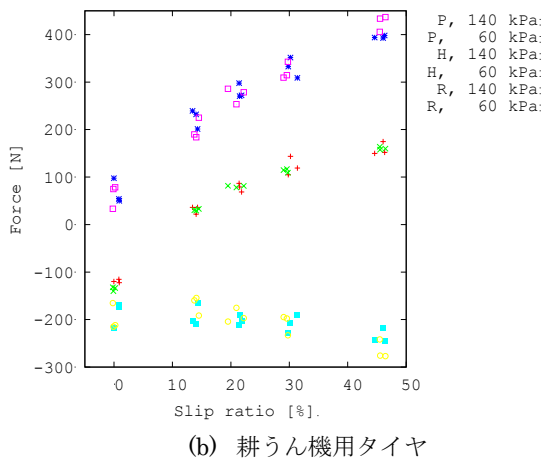
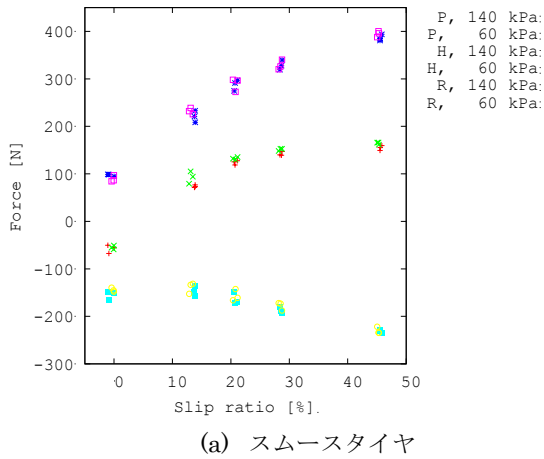


図1 実験結果

ードが剛体及び弾性タイヤの走行試験データを取得できたと思われる。けん引性能に有意な差が見られ、空気圧を低減することでけん引力が向上している。これは、空気圧を低減すると、タイヤのたわみが増加するとともに接地面積が増え、沈下量が減少することにより走行抵抗が減少し、けん引力ならびにけん引効率が増加したものと思われる。また、推進力が若干減少しているのは、タイヤがたわむことによる損失であると考えられる。

5. 結言

本研究では、室内けん引力計測装置を用いて、スムースタイヤ、耕うん機用タイヤ、芝刈機用タイヤの3種類のタイヤについて空気圧のけん引力への影響を調査した。芝刈機用タイヤでは、タイヤの空気圧を変えることで剛体モード、弾性モードでの実験データが取得できたこと、砂路面における低空気圧の弾性タイヤの走行性能についての優位性が確認された。一方、スムースタイヤ、耕うん機用タイヤにおいては、今回の低空気圧の条件では、弾性モードでのデータ取得には至らず、空気圧を変えてもほぼ同じけん引性能であった。

参考文献

- 1) 篠根央矩. 室内けん引力計測システムに関する若干の検討. 京都大学卒業論文, 2007.
- 2) 篠根央矩. 強制滑り方式による室内けん引力計測システムの開発. 京都大学修士論文, 2009.
- 3) 高津 謙. タイヤのオフロード走行性能の有限要素-離散要素法解析. 京都大学修士論文, 2009.
- 4) J. Y. Wong. Theory of Ground Vehicle, Second Edition. Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, Inc, 1993.

一方、芝刈機用タイヤでは、空気圧により接触モ

京丹波町における木質バイオマスエネルギーの導入案の課題の解明に関する コスト面での研究

Study on the cost side for elucidation of the problems in the wood biomass energy introduction plan in Kyotamba town

Key words: Biomass, Cost, Firewood

農村計画学分野 野村 真理子

1. 研究の背景

日本の農山村地域・中山間地域・離島では、若年層流出および高齢化により地域運営の人手不足が深刻化する等、地域の活力・経済力が低下している。また、その中には存続が危ぶまれている地域も少なくない。そのような地域の中には地域特性を活かした振興を図る所も少なくないが、振興計画の実行までの各段階のシミュレーション・技術や施設の導入コストおよびランニングコストの試算が不十分であるために地域振興計画が頓挫する場合もある¹⁾。このような場合、地域運営・地域財政に負担がかかる事になる。

一方、地域力の創造・地方の再生を目的に総務省の地方行政の一環として行われている「緑の分権改革」推進事業では、地域資源、とりわけ森林資源を活用するバイオマスエネルギー(木質バイオマスエネルギー)が注目され、各地で導入が検討されている。木質バイオマスエネルギーの導入の利点は、循環型社会形成やエネルギー・リスクの分散に加えて適切な森林整備ができる事、森林資源を有する山村地域の活性化が見込める事などがある²⁾。

2. 研究の目的

本研究では、2010年に「緑の分権改革」推進事業を用いてバイオマスエネルギー導入を検討するための調査を実施した京丹波町を事例対象地とした。京丹波町は林野面積が総面積の82.7%を占める森林資源が豊富な地域である。調査結果に基づき、町では公共施設・一般家庭・ハウス農家への薪ボイラーおよび薪ストーブの利用の促進により地域循環を高める木質バイオマスエネルギー導入案(以下、導入案)を作成した³⁾。導入案は、当初検討されていた実施期間より約2年、実施が遅れている事が事前ヒアリング(2013年6月実施)で明らかになっている。その遅れの理由は、木質バイオマスエネルギー導入により期待される収入に対して実際にかかるコストが大きいためであると考えた。これは背景で述べた振興計画の頓挫につながる可能性がある要因の一つで

ある。そこで本研究では、導入案をコスト面から再検討することで、導入案の問題点を解明し、持続可能なバイオマスエネルギー導入計画策定に向けた改善策を提言することを目的とする。

3. 研究の方法

まず、京丹波町の導入案の実施過程を4段階(①原料生産、②加工、③保管、④利用)に分割し、木質バイオマス利用フローとして表現した。導入案では林地残材が薪となり販売されるまでのコスト(フローの中の①から③までの段階に係るコスト)が6,000円/t以下になることが前提とされているが、この根拠は明確ではなく、明確にされているのは④利用段階のみである。そこで本研究では、導入案の④利用段階で想定されている薪の需要量(2,341t/年、薪ストーブ・ボイラーに置換可能と想定される灯油ストーブ・ボイラーで現在消費されている灯油熱量より算出)を初期条件とし、木質バイオマス利用フローのうち①から③の段階の条件を地域の実態や役場担当者へのヒアリング調査に基づいて明確に設定した。そして予想されるイニシャル・ランニングコストを試算した。コスト試算のためのデータは、既往の研究や事例から得た。また各段階を担う人員の person 費は、京丹波町で設定されている450万円/年・人とし、機材・施設等の減価償却費は、イニシャルコストを耐用年数で割り、年間当たりのコストとして計上した⁴⁾。そして、この試算結果を導入案で前提とされているコスト(6,000円/t)と比較し、持続可能な木質バイオマスエネルギー導入のために削減可能なコスト項目を明らかにした。

4. 原料生産から保管までの段階の条件設定

木質バイオマス利用フローの中で①原料生産、②加工、③保管段階における原料材の取扱量や施設等の規模は、導入案の④利用段階で想定されている薪の量(2,341t/年)を元に設定した。その際、林地残材を収集した土場から加工場所に運搬してから薪加工する「現地材システム」と、土場で薪加工を行う

「現地薪システム」の2つのシステムを設計し比較検討した。図1に「現地薪システム」の各段階の設定条件を示す(④利用段階は試算対象外とした)。

①原料生産段階では、原料材は三峠山の土場に集められたものを運搬または加工することとした。

②加工段階では電動薪割機とチェーンソーを主として用いることとした。

③保管段階では数週間以上の屋外でのあく抜きおよび翌年までの乾燥が必要なため、④利用段階の開始の1年前に①～③の段階を終えていることが必要である。「現地薪システム」では、「現地材システム」に比べてコストが削減されると考えた。その理由は、現地で薪にすることによって運搬効率が向上し、加工場所への運賃・加工場所の借地代が省けるためである。

5. コストの試算結果と提言

試算の結果、①～③の段階のコストは、「現地材システム」で3.39万円/t、「現地薪システム」で1.57万円/tとなり、導入案で前提とされたコストを大幅に上回った。表1に「現地薪システム」のコスト試算結果を示す。「現地材システム」と「現地薪システム」を比較すると、「現地薪システム」の方がコストは小さくなったが、①原料生産および②加工段階における人件費が全体の約50%、③保管のための借地代が約31%を占めていた。以上より、導入案のコスト試算では明確にされていなかった段階に係るコストや各段階における作業人数を考慮すると、予想されたよりもコストは大きくなることわかった。

②加工段階のような機材の種類・台数と作業人数とが密接に関わる段階において、機材のイニシャルコストと人件費とのバランスを考慮した複数のコスト試算結果を事前に確認・検討することにより、木質バイオマスエネルギー導入案の実現可能性、持続可能性がより向上すると考えられる。

引用文献

- 1) 山口由二 (2007) : 自治体が財政破綻にいたるまでの分析ー赤池町と夕張市の財政破綻による比較ー, 環境創造, 10, 53-75
- 2) 林野庁 : なぜ木質バイオマスを使うのか (http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/con_2.html), 2014年2月12日参照
- 3) 京丹波町 (2012) : 「緑の分権改革」推進事業成果報告書 1-3

- 4) 清水夏樹・柚山義人・中村真人・山岡賢 (2012) : バイオマス活用システムのライフサイクルを対象とした経済性の評価, 農村計画学会誌, 31, 58-89
- 5) ポール・キャスナー : 薪ストーブのある暮らし, (http://fireside-essay.jp/paul/), 2014年2月12日参照
- 6) グリーンランドみずほ公式ホームページ, (http://www.greenlandmizuho.co.jp/sports/ground/)
- 7) 京丹波町 (2011) : 「緑の分権『命の里』促進事業 (京丹波町) に係る調査業務」巻末資料

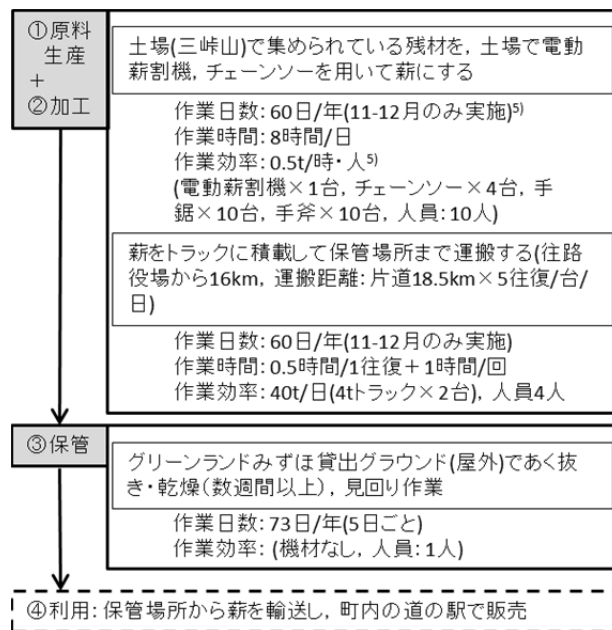


図1 「現地薪システム」による木質バイオマス利用フローの設定条件

表1 「現地薪システム」におけるコスト試算結果

段階	算出項目	算出項目内訳	コスト算出値(1年当たり)
①原料生産+ ②加工	イニシャルコスト	電動薪割機, チェーンソー, 手鋸, 手斧購入費	薪割機 39万円/台 チェーンソー2.9万円/台×4台=11.6万円 手鋸2,500円×10人分=2.5万円 手斧3,000円×10人分=3万円
		運搬車両購入費	8,000円/台・日×2台×60日=96万円
	1年当たりのイニシャルコスト(減価償却費)		56.1万円÷耐用年数5年=11.2万円
	ランニングコスト	林地残材搬出費・運搬経費(燃料費等)	4,100円/台・日×2台×60日=49.2万円 ガソリン 382円/往復×5往復/日×60日=11.4万円
		運搬作業人件費 林地残材購入費	450万円/年・人*×4人=1,800万円
加工費		光熱費 機材メンテナンス費 人件費	2,000円/t*×2,341t/年=468万円
③保管	イニシャルコスト	新規に保管場所を造成・建設しない	0円
	ランニングコスト	薪保管場所管理費(人件費等)	450万円/年・人*×0.2(5日に1回)=90万円
		薪保管場所使用料 ⁶⁾	{1,250円/時(平日)×5日+1,500円/時(休日)×2}÷7×24時間×365日=1157.6万円
合計			3,683万円

*は京丹波町提供資料⁷⁾に基づく

動機別に見た I ターン就農に際しての農業体験の方策

The Appropriate Experiences of Farming for Urban Residents to Be Farmers in Rural Areas, from Point of View of Their Motivations

Key words: I-turn Phenomenon, Motive, Circumstance

農村計画学分野 橋本 洋輔

1. 研究背景

近年、農村人口の減少、農家の後継者不足などが問題になっており、全国の新規就農者数も減少傾向にある。一方で全国新規就農相談センターへの相談件数が 2007 年度の 1 万件から 2009 年度では 2 万件近くに増加する¹⁾など、新たな就業先としての農業への関心自体は高まっている状況である。

また、各都道府県・市町村を始めとする各団体の就農支援制度も整備が進んでおり、京都府では担い手養成実践農場(以下、実践農場)という 2 年間の研修制度が 2002 年から始まっている。これは就農後にそのまま使う農地および住居を斡旋し、その場で指導者と後見人の下に就いて農業技術および農村での生活全般について実践的に研修を受ける。

また、2012 年度からは年間 2 万人の青年新規就農者の定着を目指す新規就農総合支援事業が国の政策として始まっている。その一環として 45 歳未満の新規就農者を対象とした青年就農給付金制度が始まったことなどから特に若い世代の新規就農が重視されていることが分かる。

2. 研究目的と方法

未だ問題となっている農村人口の減少および農家の後継者不足は I ターン就農者つまり農村に新しく居住し、農業を受け継ぐ存在が増えることで解消に向かい、それがひいては地域の活性化につながると考えた。そこで地域活性化を本研究における最終的な目標とし、その定義を明確にするために農林水産省による地域活性化の定義²⁾や山崎の持続可能性の定義³⁾を統合して、本研究における地域活性化とは、「農村に農業を受け継ぐ若い世代が居住することで人口減少に一定の歯止めがかかっており、近い将来においても定住人口の維持が可能である状態」とする。そのための方法として、I ターン就農者の増加を促すために必要な農業体験を明らかにすることを本研究の目的とする。求められる農業体験は I ターン就農希望者の「動機」によって異なり、各動機に適した農業体験を得ることにより実際の就農が円滑に促

進されると考えられる。そこで、既に I ターン就農した人を対象にヒアリング調査を行い、I ターン就農をしようと思った動機、I ターン就農までの経緯と言った要素を聞き、それらを分析し I ターン就農までの準備として受けるべき農業体験の検討・提案を行った。

3. 研究対象

3.1 対象者および対象地域

研究対象者は I ターン就農者、つまり農村に移住し農業を行う農村出身でない者であるが、本研究ではそのうちで就農時の年齢が 45 歳未満であった、独立して営農を行っている者とする。

対象地域は、近年新規就農者の数が増加傾向にあり、その定着率も高い京都府とし、そのうち特色が異なる 5 地域、岡田中地域、神吉地域、胡麻郷地域、中上林地域、志賀郷地域を対象とする。ヒアリング対象者については京都府からの紹介や各地域において地元の農家および新規就農者とのつながりが強い方々からの紹介で決定した。

3.2 動機

I ターン就農しようと思った動機については以下の 4 つに分類する。

- ①作物へのこだわり：特定の作物や農法へのこだわりがあり、それらを実現したいという思い
- ②生産者になりたい：農業に限らず、ものを生産する立場になりたいという思い
- ③自営業がしたい：農業に限らず、雇われる立場ではなく自営業をしたいという思い。
- ④田舎暮らしがしたい：農業をするかどうかに関係なく、田舎に居住したいという思い

なお、それぞれの番号は以降の文章でも用いる。

3.3 農業体験

本研究における農業体験とは各行政機関や自治体などが執り行っている農業体験・農業研修に加え、自ら農村を訪ね農作業を手伝うなどの個人的な体験も含めた、農村や農業に少しでも関わる行動を言う。それらを以下の 3 つの観点を組み合わせた 8 通りによって分類する。

1 つ目は、体験が、泊まり込みで連日にわたり作業を行ったり、毎週数日間にわたり作業を行うなど継続性を持ちながら行うもの(以下「長期」と表す)か、1 日限りであったり、数回行うが実施内容は毎回違い、継続性がないもの(以下「短期」と表す)であるかという観点。2 つ目は体験が将来就農する予定である土地で行われるものであるか(以下「現地」と表す)、そうではない別の土地で行うものであるか(以下「別」と表す)という観点。3 つ目は体験が体験場所周辺に居住しながら行うもの(以下「居住」と表す)か、通いながら行うもの(以下「通い」と表す)であるかという観点。

4. 仮説（動機と農業体験の経緯の関係について）

同じ I ターン就農という現象であっても動機が違えば目指すかたちが違い、そこに至るまでに必要な農業体験も違うものになるのではないかと考え、動機別に異なる I ターン就農までの経緯を以下の図 1 に示した。この場合の I ターン就農とは、現在の営農状況や居住地等に関わらず最初に I ターンと就農の両方が実現した時点を目指す。

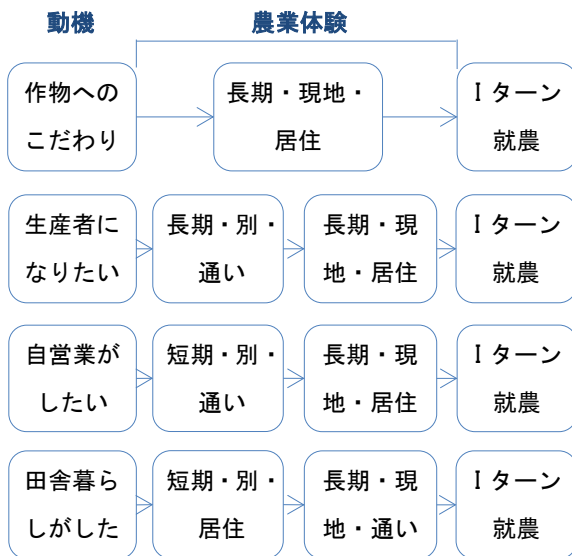


図 1 仮説：動機別に見た就農までの経緯

①の対象者はすでに I ターン就農に向けてのある程度の方向性が定まっていると考えられるので実践的な体験を、②の対象者には最初から最後まで作物を育てる経験を、③の対象者には農業についての大きな知識を、④の対象者には田舎暮らしについての実践的な体験を、と考え、上記のような仮説となった。

5. 結果

5 地域へのヒアリング調査によって得られた、15 名の I ターン就農者の動機および農業体験の経緯をまとめたものが以下の表 1 である。なお表 1 の対象者は動機分類ごとにまとめている。

表 1 ヒアリング対象者の動機と経緯

対象者	動機分類	I ターン就農までに経験した農業体験の経緯
I	①	短期・現地・通い
L	①	長期・現地・居住
O	①	なし
C	②	長期・別・通い→長期・現地・居住
D	②	長期・別・通い→長期・現地・居住
E	②	短期・現地・居住→長期・現地・居住
F	②	長期・現地・居住
G	③	長期・現地・居住
H	③	長期・現地・居住
K	③	長期・別・通い
A	④	なし
B	④	短期・現地・居住
J	④	短期・別・居住→長期・別・通い
M	④	長期・別・通い→短期・別・通い
N	④	長期・別・居住

結果からは動機別に決まった経緯のパターンは見られなかった。しかしそれぞれの農業体験の内容や農業体験以外の背景等を詳細に分析した結果、動機ごとに望まれる農業体験の提供について提言できる。

6. 考察および提言

①の対象者にとっては育てたい作物を育てられる場所を確保することが一番大事だと考えられるため、事前の準備としては農作業技術の習得などよりも、地元住民の理解を得たうえで希望する作物が育てられる土地を斡旋することが必要であると考え。

②の対象者は最終的に実践農場を受けており、実践農場は有効な手段であると言える。実践農場を受けるまでの準備としては、はじめから農業を目指していなかった人に農業を選ぶきっかけを提供することが必要である。

③の対象者はなんらかの媒体から農業や就農支援制度について知識を得て、その後は自営業として農業を行っていくという強い覚悟を持って長期的な体験を受けている。そのため、就農支援制度の周知・広報をしっかりと行っていくことが求められる。

④の対象者については動機が少し漠然としていたこともあってか、共通項がほぼ見つけられなかった。田舎暮らしがしたいということで I ターンに関しての意志は明確であるので何をきっかけとして農業を行おうと思いついたかをもう少し深く調べることができれば適した農業体験を提示できるのではないかと考える。

参考文献

- 1) 全国新規就農相談センター(2011)：平成 22 年度新規就農者の就農実態調査。
- 2) 農林水産省(2009)：平成 21 年度地域活性化のための農業集落データ分析委託事業報告書。
- 3) 山崎寿一(2010)：居住を核とした農村の持続性に関する試論，農村計画学会誌，29(1)，42-49。

ロボットコンバインの作業情報分析*

Analysis of Work Information for Combine Robot*

Key words: Agricultural robot, combine, rice harvesting

フィールドロボティクス分野 原田 朋弥

1. 緒言

現代の日本において、農業従事者の高齢化や農業従事者数の減少が、農業生産現場の深刻な問題となっている。このような問題の解決策の一つとして、農作業ロボットの導入による農作業の省力化・効率化が考えられている。このため、当分野では稲収穫作業のロボット化のために、自脱コンバインロボットを開発しており、これまでに経路追従走行による稲の自動刈取りや、マシンビジョンによって運搬車やコンテナを検出して、排出オーガを自動位置決めする研究²⁾を進め、ロボット収穫を行った。

ロボットによる作業効率をさらに向上するためには、刈取速度・旋回動作の高速化と共に、グレンタンク満量時期の予測と穀粒排出位置までの移動距離の短縮が重要である。このためには、グレンタンク内の穀粒量と空き容量を推定し、タンクが満量になるまでの刈取距離を求め、どの位置で刈取りから穀粒排出に移行するかを決定することが重要である。

本研究では、コンバインロボットを用いて、実際に稲を有人作業とロボット作業で収穫したときに取得した作業情報を分析することで、ロボットのグレンタンク満量までの刈取距離を予測し、実作業による結果と比較する。これによって、効率的・効果的にコンバインロボットを運用するために、有用なデータ分析方法を明らかにすることを目標とする。



図1 自脱コンバインロボット

2. 実験装置及び方法

2.1 コンバインロボット

図1に供試した自脱コンバインロボットを示す。航法センサとして、Multi-GNSS と GPS コンパスを装備している。コンバインロボットでは、位置、方位、走行速度、エンジン回転数、刈高さ、主変速レバー位置、グレンタンク容量などのデータを10Hzで取得する。このデータを分析し、コンバインの走行距離(刈取面積)、収量、刈取時間(作業時間)などを算出する。走行距離は、車速センサで計測した速度を積分して求める方法と、GNSSで測位した位置情報から求める方法から算出した。グレンタンク容量は、タンク内に設置された3つのセンサで検出した。タンク内の穀粒量(生籾)とセンサの関係性を満タン法で求めたところ、センサ1がオンで約70%、センサ2がオンで100%、センサ3がオンでオーバーフローとなり、エンジンが緊急停止する。また、センサ2がオン(100%)のときの籾質量は430 kg (15%w.b.)である。

2.2 圃場実験

分析に用いたデータは、2013年10月14日に南丹市八木町氷所の水稲圃場において、有人作業とロボット作業で稲を収穫したときのものである。圃場の面積は26a(長辺92m×短辺28m)で、刈幅1.1mで刈取速度は0.6m/sであった。この実験データから、グレンタンク容量と走行距離の関係とスリップ率を分析し、タンク満量位置の推定を行う。

3. 実験結果及び考察

3.1 車速センサによる走行距離

車速センサで計測した走行距離の時間変化とタンクのセンサの関係を図2に示す。図中の赤線が車速センサによる走行距離、青線がタンクのセンサ1と2の時間変化を表す。

3.2 走行距離と刈取距離の考察

車速センサによる走行距離、また旋回走行を除いた車速センサによる刈取距離、GNSSによる刈取距離を比較したものが図3である。なお、比較した地

*農業食料工学会関西支部報第116号に一部掲載

点は、有人作業による回刈りでは、センサ1と2が入った地点、ロボット作業による収穫では、センサ1が入った地点、排出の後、再びセンサ1が入った地点の計4か所で距離を比較した。コンバインの総走行距離から稲を刈取っている部分の走行距離を求めるために、1)主変速レバー位置から前進している場合、かつ2)刈取部が下がっている場合の2つ条件を用いた。この結果、GNSSによる刈取距離と車速センサによる刈取り距離に差はほとんどなかった。

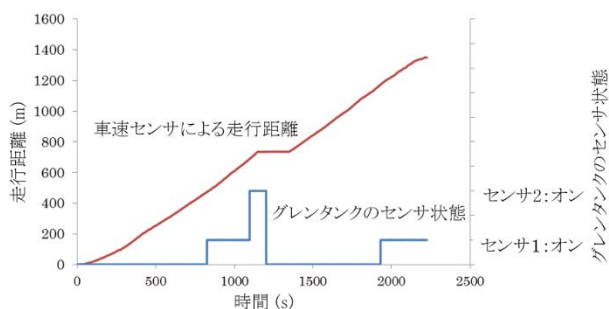


図2 走行距離（車速センサ）とタンク容量の関係

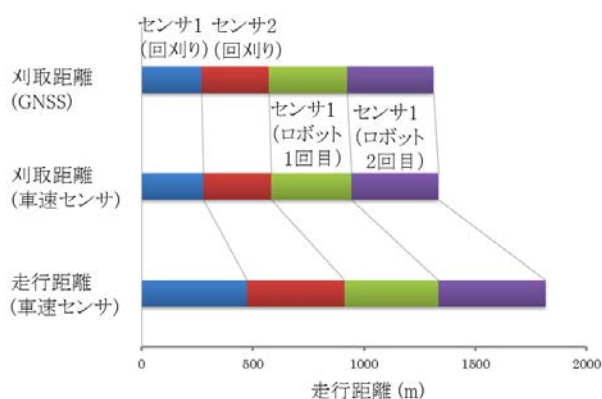


図3 走行距離と刈取距離の比較

3.3 スリップ率

車速センサとGNSSで求めた走行距離から、コンバインのスリップ率を算出する。このスリップ率から圃場の土表面状態を把握することができ、スリップ率が高い部分は、土壌が軟弱と考えられ、車速センサで刈取距離を求めた場合、大きな誤差が生じる。

表1のスリップ率は、有人による回刈り作業においてセンサ1と2がそれぞれオンになったときと、穀粒を排出したときの3か所での刈取距離を求めた。

表1 回刈りにおけるスリップ率（有人作業時）

—	センサ1	センサ2	排出時
スリップ率	2.88%	3.34%	2.80%

また、ロボット収穫におけるセンサ1がオンになったときの2回のスリップ率はそれぞれ1.93%と1.28%であった。

3.4 グレタンク満量の推定

効率的な排出地点を推定するために、センサ1がオンになった時点で、センサ2がオンになるまでの刈取距離を算出する必要がある。ただし、ここでは単位距離当たりの収量を一定と仮定して、センサ1がオンになったときに見掛け収量を求め、この収量からセンサ2がオンとなるまで刈取距離を推定した。結果として、図4のようにタンクが満量になる位置を予測できた。

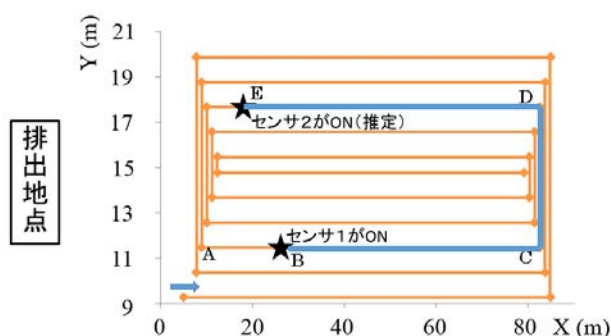


図4 グレタンク満量位置の推定結果

この結果、実作業ではコンバインロボットは点Bでセンサ1がオンとなったため、点Cまで刈取りを行ったあと排出位置まで戻ったが、理想的には、区間CDとDEを収穫してから排出位置に戻る方が稲を刈取らずに走行する距離が短く、作業効率が高くなると判断された。

4. 結言

本研究では、コンバインロボットの刈取距離とグレタンクのセンサを用いて、グレタンクが満量になるまでの刈取距離を推定し、刈取作業から排出作業に効率的に移行できることを示すことができた。また、GNSSと車速センサの走行距離からスリップ率を求めることが出来た。

参考文献

- 1) Iida, M., Uchida, R., Zhu, H., Suguri, M., Kurita, H., and Masuda, R., (2013) : Path-Following Control of a Head-Feeding Combine Robot, *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 6(2), 61-67.
- 2) Kurita, H., Iida, M., Suguri, M., and Masuda, R., (2012) : Application of Image Processing Technology for Unloading Automation of Robotic Head-Feeding Combine Harvester, *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 5(4), 146-151.

撥水砂と疎水性止水剤の混合による土木材料的特性の考察 豊浦砂との比較を中心に

Geotechnical Characteristics of a Water Repellent Sand Mixed with Hydrophobic Agents:
Comparison with Toyoura Sand

Key words: geotechnical characteristics, hydrophobic agents, toyoura sand

地域環境工学分野 東野 勇介

1. 序論

これまで豊浦標準砂（以下、「豊浦砂」という）を撥水処理した砂（以下、「撥水砂」という）の実用に向けて水理学的、力学的研究がなされてきた。撥水砂の加水により締固まらない問題を改善できる何らかの素材と混合すれば、施工性・撥水性・力学的安定性の全てに優れた地盤材料が得られ、実用化が期待できると考えられる。

本研究では、疎水性止水剤（以下、「止水剤」という）に着目し、これと撥水砂を混合し、その水理学的・力学的特性（撥水性及びせん断強さ）について実験的に検討した。

止水剤は、例えばコンクリート建造物の打ちっ放し部分のクラックからの漏水防止のための補修に使われる薬品で、クラックの奥まで浸透し、強力な撥水性能と高い強度を発揮する。使用時には一定の比率の水及び補助剤（硬化を促進する薬品）を混合する。今回使用した止水剤は、東邦化学工業株式会社のハイセル OH-15X という製品である。元々は液体であるが、水と補助剤を混ぜることで硬化する。

2. 耐水性試験

2.1 手法

試験には三軸圧縮試験装置を改良したものを使用した。供試体は、撥水砂もしくは豊浦砂に所要の止水剤添加率を与えるように止水剤、水、補助剤を混合し作製した。実験においては、側圧 20 kN/m² を確

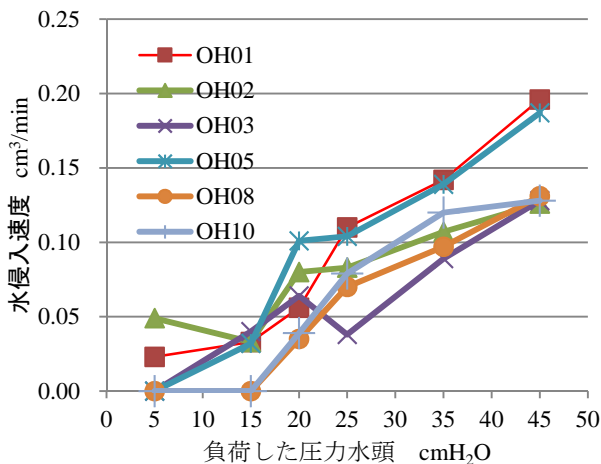


図1 撥水砂の水浸入速度

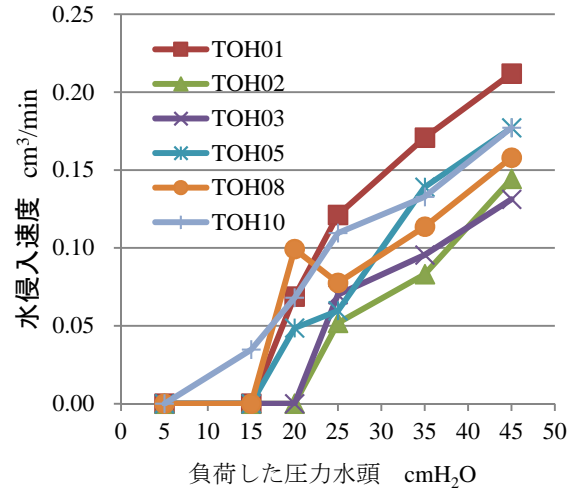


図2 豊浦砂の水浸入速度

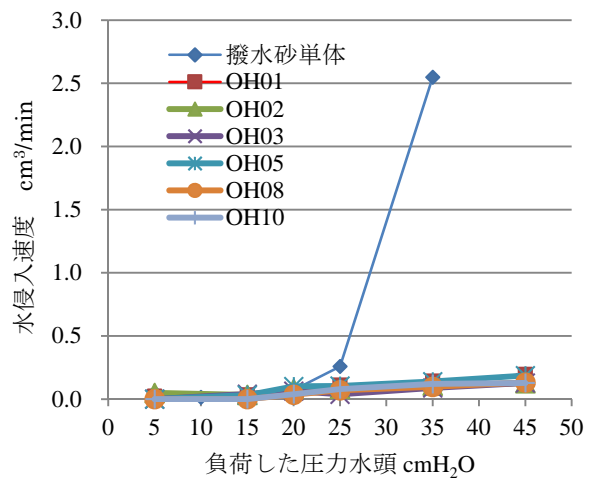


図3 止水剤の有無による比較

保した上で、間隙水圧を5 cm水頭にセットし、供試体の浸水量を10分間計測する。その後、間隙水圧を15 cm水頭、20 cm水頭、25 cm水頭、35 cm水頭、45 cm水頭と上げていき、それぞれ10分間ずつ計測、これを全ての供試体について同じように行った。

2.2 実験結果と考察

図1、図2より撥水砂、豊浦砂ともに、負荷した圧力水頭がある値を超えると水が供試体に浸入し、圧力水頭値が大きくなるにつれ、水の浸入速度が大きくなるのが分かる。また、止水剤の比率と水浸入

速度との間に明確な相関関係は見出せない。また、止水剤を両砂（撥水砂と豊浦砂）に加えても、両砂の水浸入速度に違いは見出せない。水浸入速度はいずれも0.1~0.2 cm³/min程度と極めて小さい。水浸入量の計測精度を高め、より多くの供試体を用いれば、浸入速度と止水剤の比率の関係について明らかになったかもしれない。図3より明らかに、撥水砂のコーティングよりも今回用いた止水剤の耐水性が優れていると判断できる。

3. 一面せん断試験

3.1 手法

一定の垂直力を下面から載荷し、上箱を水平移動させることで供試体をせん断する一面せん断試験装置（図4）を用いて、簡易定圧試験を行った。試験手順は「土質試験 基本と手引き 第二回改訂版」（122頁から134頁）の通りである。

3.2 実験結果と考察

図4、図5より、撥水砂、豊浦砂ともにせん断強さは、垂直応力に概ね比例している。一方で、止水剤の濃度によるせん断強さの違いは小さい。また、撥水砂と豊浦砂を比較すると結果は概ね一致し、それらによる違いはほとんど見出せなかった。図6より、撥水砂単体のせん断強さは、止水剤を混合した撥水砂のせん断強さの中間的な値を示した。

4. 結論

耐水性試験、一面せん断試験を通じて、少なくとも止水剤を使用する限り、撥水砂と豊浦砂の耐水圧と強度定数に明確な差は見られない、という結論に至った。耐水性については、今回利用したウレタン系止水剤自体の耐水効果が、その微量の添加によってさえも非常に強力であることが、撥水砂と豊浦砂の耐水力の違いを無くしたと考えられる。ただし、止水剤の使用方法は通常行う亀裂への充填とは異なることに注意する。このことから、耐水圧が20 cmH₂O程度の撥水砂を用いなくても、豊浦砂に止水剤を混合すれば、高い耐水性を持つ地盤材料が得られると言える。

一方、強度特性については、止水剤の添加率が5%までではあるが、止水剤のせん断強度への影響は皆無といえる。止水剤を単体で硬化させると非常に高い強度を示す（メーカーの仕様書では、水10%の場合の圧縮強度が6916 kN/m²、曲げ強度が5042 kN/m²とある）。耐水性試験では撥水砂に対しほんの数%でも止水剤の効果は現れた一方で、止水剤がせん断強さに影響しなかった事実は判明したが、その理由については十分考察できず、今後は止水剤の配合率や供試体の作成方法を含めて検討すべきである。それでも結果が変わらなければ、止水剤はせん断強さの

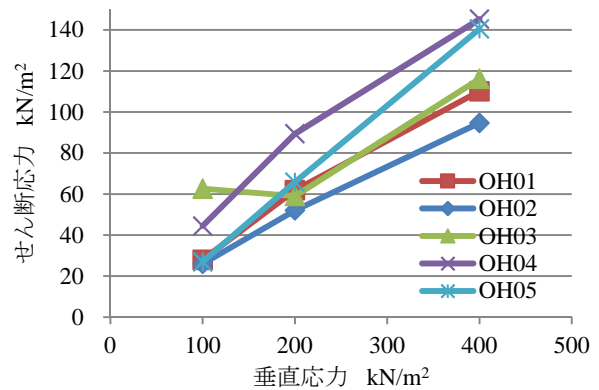


図4 撥水砂のせん断強さ

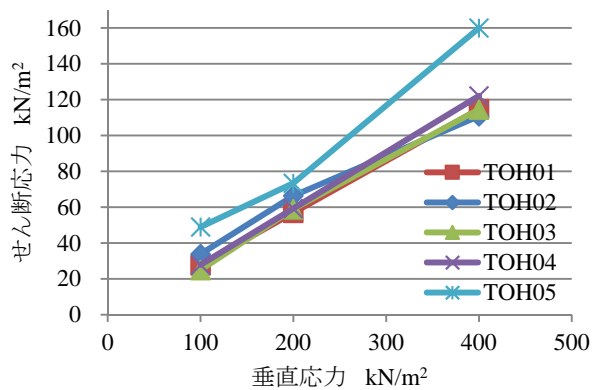


図5 豊浦砂のせん断強さ

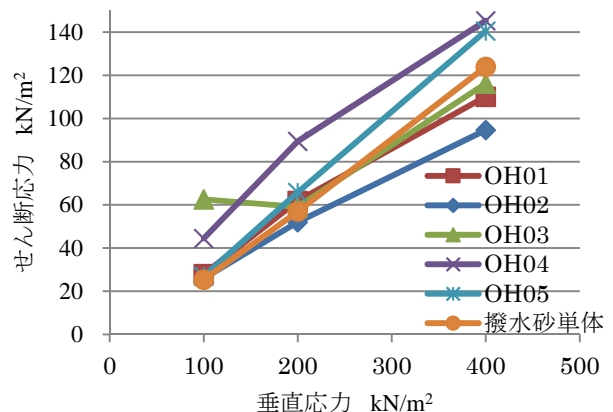


図6 止水剤の有無による比較

向上には適さないという結論になるであろう。

いずれの実験も、データのバラつきが多少みられることに注意すべきである。より正確な実験結果を得、止水剤濃度と耐水性・せん断強さの相関関係を見出すためには、同じ実験を何度か繰り返して結論を導くために、結果の統計処理が必要であろう。

参考文献

- 1) 地盤工学会 (2010) : 土質試験 基本と手引き, pp.121-150.
- 2) 加藤龍 (2012) : 撥水砂にセメントを添加した撥水砂ブロックの力学的特性に関する研究.

画像処理による登熟期水田内の人検出手法の開発

Development of human detection method on paddy field during grain fill duration

Key word : Wavelet transform, Safety measures, Agricultural machine

フィールドロボティクス分野 久重 隆之

1. 緒言

現在、日本の農業は農業就業者の高齢化や後継者不足といった問題を抱えている。そこで、効率よく作物を収穫する方法が研究されている。その方法の一つとしてあげられるのが、ロボットコンバインで、その自律走行ナビゲーションは GPS から得られる位置情報によって可能となる。しかし GPS による位置情報だけではコンバインの進行方向に障害物や人が存在したとしても検出することができず、ロボットコンバインが安全に自律走行することが難しい。本研究では、検出する対象を人に限定し、圃場画像中に人がいるのか、いないのかを判定し、人がいると判定された場合はどの位置にいるか、また何人いるのかを検出する処理を開発する。

2. 圃場画像

ロボットコンバインに搭載することを想定するため、本研究では撮影時期と撮影高さがある程度決めた。撮影時期はコンバイン使用時の登熟期であり、2013年9月11日京都府南丹市八木町、2013年9月26日大阪府高槻市高槻農場で撮影した(図1)。撮影時の高さは2~2.5mになるように撮影した。コンバイン運転時は機体の揺れによりカメラの位置や角度が変化する事が考えられるため、撮影時の高さや写る範囲の固定は行っていない。カメラはNEX-5(SONY)を使用した。



図1 圃場画像(左が南丹市八木町, 右が高槻農場)

3. 人の有無判定および位置検出手法

画像における人部分を検出する際、人部分と稲部分のテクスチャの違いに注目した。そのため本研究ではウェーブレット変換を用いる。ウェーブレット変換は、与えられた信号をスケール関数によって近似し、近似の際に失われた情報をウェーブレット関数によって表すものである。したがってスケール関数によって近似された信号を平均化成分、ウェーブレット関数によって表される信号を変化成分とすることができる。圃場画像では、人部分の変

化成分は小さくなり、稲部分の変化成分は大きくなるため、これを利用する。

人の有無判定および位置検出手法の処理は大きく分けて、判定用画像作成、人の有無判定、人の位置検出の3つの処理からなる。まず判定用画像作成の処理では、撮影した圃場画像から人の有無判定を行うための画像を作成する。元画像を縮小し、切り取りを行うことで1280x960 pixelにし、この画像に対してウェーブレット変換を行う。今回ウェーブレット変換にはハール基底を用い、レベル3まで行った(図2)。

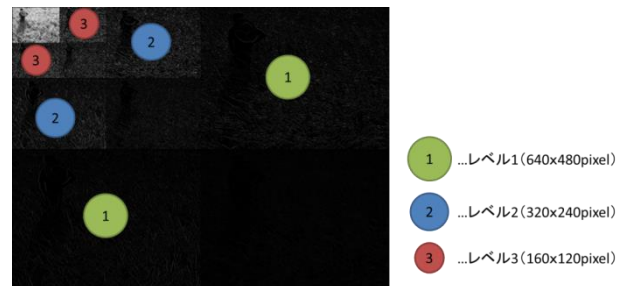


図2 ウェーブレット変換後の各レベルの位置と大きさその後、各レベルの画像を切り出し、640x480pixelに揃え、二値化を行った上で各レベルの画像、計6枚を合成する。この判定用画像において、稲部分白に人部分は黒になる。次は人の有無判定である。この部分では1280x960 pixel中におよそ120x120 pixel以上の大きさの人が写っている場合に人有りとして判定される処理を作成する。まず判定用画像に当てはめるための8x8 pixelの正方形(以後、窓と呼ぶ)を作成し、画像の各部に当てはめ、それぞれの位置で窓内にある白pixelの個数を計算する。人判定はこの窓内の白pixel数が0となっている領域数の閾値を設け、1枚の画像で閾値以上の領域数があるかどうかで人の有無を判定する。最後に、人の位置検出処理は人有りとして判定された画像で行われる処理である。人の有無判定の処理を用いて、縦横各方向で窓内の白pixel数が0であった領域数のヒストグラムが作成できる。このヒストグラムと元画像を比べてみると、ヒストグラムのピーク周辺に人が位置していることがわかった。したがってヒストグラムのピークを検出することで位置検出を行った。

4. 結果及び考察

今回の実験における誤検出の基準は、人の有無の判定が間違っていること、人有りとして判定された場合

に位置検出が誤った部分になっていることの2点とした。

4. 1 南丹市八木町の画像

南丹市八木町の、稲があまり倒伏していない画像では、1枚中の窓内の白pixelが0である領域数が1ヶ所以上ある場合に人有りとして判定すると精度が最も高くなった。図3は人の検出例である。

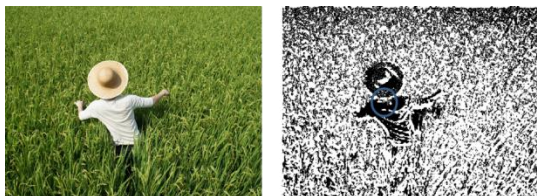


図3 検出例

人有り画像における精度は、87.7%であり、人なし画像における精度は97.9%、有無合わせた精度は91.9%となった。誤判定された画像には大きく分けて3パターンあった。1つめは画像中の人が小さすぎて人有りとして判定されない場合であるが、人が小さく映るのは画像の奥側であり、コンバインからある程度離れている位置であるため問題ないと考えられる。2つ目は、画像上部は変化が細かく黒色になってしまいその部分が検出されている場合であるが、この部分もコンバインから離れた位置であるため、人の有無判定で使わないようにすれば判定の精度が上がると考えられる。3つ目は、画像上部以外の人でない部分が検出されている場合であるが、その部分は圃場で稲が植えられていない部分や手前の稲が大きく写っている部分であり、カメラの角度を調節し、そのような部分が映らないようにしなければならない。

4. 2 高槻農場の画像

高槻農場の画像は稲の倒伏が多く、判定用画像を作成した場合八木町の画像と比較して黒色部分が多かった。そこで窓内の白pixelが0である領域数の閾値を1~10で試したところ、10ヶ所以上あるとき人有りとして判定される場合が最も精度が高くなった。図4は人の検出例である。

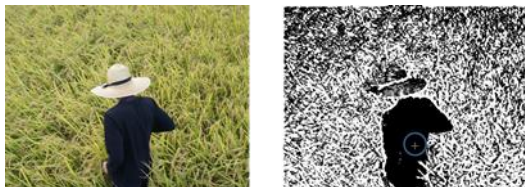


図4 検出例

人有り画像における精度は、77.1%であり、人なし画像における精度は73.3%、有無合わせた精度は75.7%となった。稲の倒伏が多い画像は、倒伏の少ない画像と比べて精度が低くなった。誤判定したのは大きく分けて次の2パターンであった。1つ目は画

像上部が検出されるパターンである。倒伏の多い圃場画像では奥側の変化成分がより小さくなっており判定用画像で黒色となることが多かった。これは判定用画像の上部を判定に用いないことで精度が上がることが考えられる。2つ目は稲が倒伏している状態が画像の下部に写っている場合、その部分を検出してしまうことである。しかし、稲の倒伏が激しい場合コンバインを使用することはできないので稲倒伏部分の誤検出問題は解決されると考えられる。

高槻農場においては人が2人写っている画像も撮影し、処理を実行した。その結果、正しい判定がなされたのは71.4%であった。誤判定とされているものの多くは、1人の時と同様に画像上部や、稲の倒伏部が検出されている場合であった。また、1人が他方と比べ小さく写っている場合や、見切れている場合に1人しか検出されない場合があったが、大きく写っている人や見切れていない人が検出される場合、コンバインの走行に支障はないと考えられるため、問題ないと考えられる。

5. 結言

今回の研究で圃場画像における人の有無判定を行い、人がいると判定された場合に人の位置と人数の検出を行う手法が開発された。人の有無基準は窓内の白pixelが0である領域数を閾値としたとき、稲の状態によって適切な閾値があることがわかった。稲の倒伏が少ない画像では、閾値が1の時その精度は91.9%、倒伏の多い画像では閾値が10の時、画像中に人が1人の場合で75.7%、2人の場合で73.8%となった。また人の位置検出処理では、稲の倒伏がそれほど多くない状態で、人がある程度の大きさで写っている画像であれば検出可能であった。圃場内に複数の人が存在する場合であっても、ある程度離れている場合は2人まで検出できた。

6. 参考文献

- 1) N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection", IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 1, pp. 886-893, 2005.
- 2) 中野宏毅・山本鎮男・吉田靖夫 「ウェーブレットによる信号処理と画像処理」 共立出版株式会社 (1999)
- 3) 金谷健一 「これなら分かる応用数学教室—最小二乗法からウェーブレットまで—」 共立出版株式会社 (2003)

地衣類 *Caloplaca flavovirescens* の He 線吸収線量と光合成速度の関係

The relation between photosynthesis rate and helium ion beam absorbed dose for lichen *Caloplaca flavovirescens*

水環境工学部分野 福岡 大起

1. はじめに

パンスペルミア説は、生命が惑星間を移動したという考え方から、生命の起源を地球外に求める説である。これまでに様々な学問領域の視点から考察が加えられてきた。

我が国の高層大気中の微粒子捕集実験計画であるたんぼぼ計画では、地球上の生物の生存の限界を調査するため、また地球上の生物が宇宙に出ていく可能性を検討するために、国際宇宙ステーション軌道において微粒子や微生物の捕集を行うことが検討されているが、それと同時に宇宙空間での微生物の生存能力についての検討も行う予定である。

これまでの研究の結果、地衣類は宇宙環境での生存能力が高いと考えられている種類が多く存在する。地衣類は菌類と光合成微生物の共生体であり、その特殊な構造や、地衣類の持つ色素などによって宇宙の過酷な環境から保護されている。*Caloplaca flavovirescens* (和名: ツブダイダイゴケ) はこれまでのたんぼぼ計画における研究で、真空中における高温(80°C)や低温(-80)のサイクル試験、紫外線や重粒子線照射試験などにおいて高い生存能力を示し、地衣類の中で特に宇宙空間の極限環境に高い耐性をもつことが分かっている。今回は、宇宙環境を想定して、宇宙線に含まれる電離放射線である He 線を与える *C. flavovirescens* の呼吸速度や光合成速度の関係について議論する。

2. 材料と方法

2.1 試料

実験に用いた *C. flavovirescens* は山形県山形市で採取され、千葉県重粒子線がん治療装置(HIMAC)によって He 線をそれぞれ(0,10,30,100,300Gy)照射したサンプルを用意した。これらは実験開始まで1-4°Cで保管された。実験開始前に水を霧吹きを用い地衣類の含水率が飽和状態になるように加水した。

2.2 計測方法

計測したのは *C. flavovirescens* の呼吸速度と異なる光量子フラックス密度(50,100,300,500,800 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)における光合成速度である。呼吸速度は地衣類の生存率を表し、光合成速度は地衣類の光応答の活性を表すと考えられる。計測には閉鎖チャンバ法を利用し、一定時間の二酸化炭素の変化量か

ら光合成速度を求めた。光合成速度を測定するときの二酸化炭素濃度は、2種類の条件で計測した。1つ目の条件は、光合成飽和となる二酸化炭素濃度であり、2つ目の条件は茨城県つくば市の大気濃度(標準大気)である。

3. 結果

呼吸速度、光合成速度ともに照射 He 線量の増加にしたがって速度低下することが示された。図1に呼吸速度と He 線量の関係、図2光合成飽和二酸化炭素濃度における光合成速度と He 線量の関係、ず3に標準大気における光合成速度と He 線量の関係について示す。光合成速度光量子フラックス密度との間にははっきりとした科関係は見られなかった。

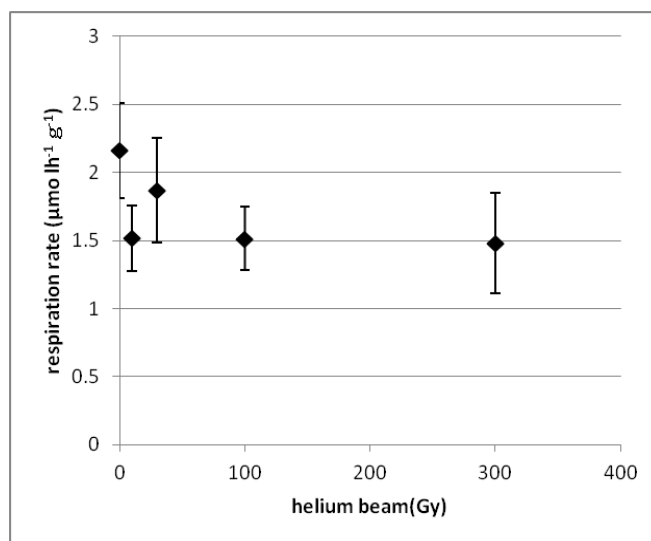


図1、光合成と He 線量の関係

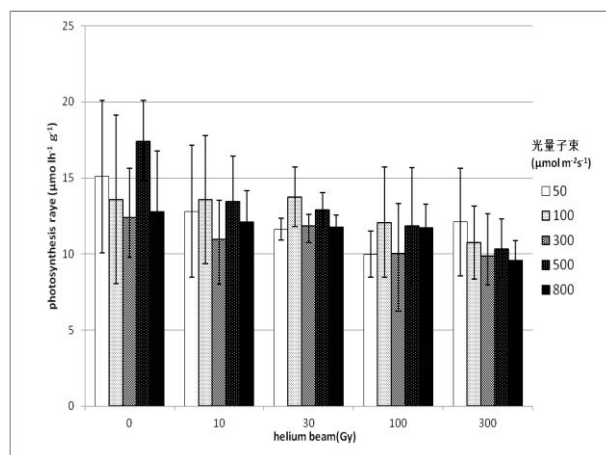


図2、光合成と He 線量の関係(CO₂ 飽和)

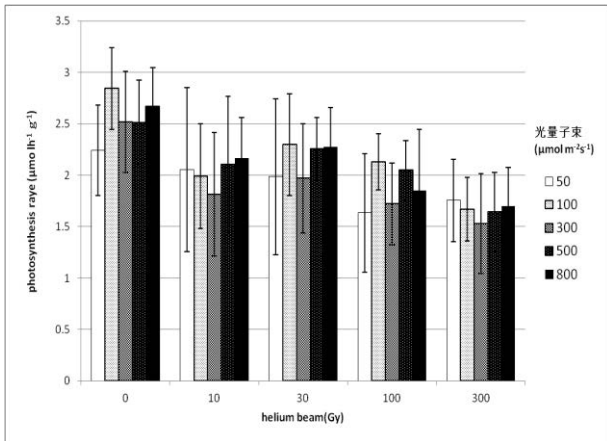


図3、光合成と He 線量の関係(つくば市の大気)

4. 考察

呼吸速度と光合成速度はどちらも He 線量の増加にしたがって減少したが、その減少の傾向には違いがみられた。呼吸速度は照射線量が 0Gy と 10Gy の間で大きく減少し、それら以上の線量では減少は小さかった。一方、光合成速度は照射線量 0Gy と 10Gy の間で大きく減少した点については共通しているが、10Gy 以上の照射量でも減少量ははっきりとみられた。地衣類を採取したときにはがれた部分は髄層が面しており、菌糸が外部に露出していると考えられるが、もともと空気に触れていた面は皮層であり、色素や粘液などで外部の環境から内部を保護していると考えられる。こうした試料の構造上の特性から、He 線の遮断能力が面によって異なると考えられる。その結果、10Gy までの線量で髄層が面している部分がダメージを受けて、それ以上の線量では皮層に覆われている面はダメージを受けにくいために呼吸速度や光合成速度の減少は緩やかになったのだと考えられる。また、呼吸速度を生存率の指標とすると、呼吸量が減少しないにもかかわらず、光合成速度が低下していることから、He 線は単に地衣類の生存率を低下させただけでなく、光合成系の劣化も起こしたことが推察される。

次に、ポテンシャル光合成速度を計測データから門司-佐伯の式で推定し、ポテンシャル光合成速度の推定値と He 線量についての関係から地衣類の面によって異なる He 線遮断能力を前提として以下のモデル式を提案する。

門司-佐伯式は、定数 a、b、と光強度 I で光合成速度 Ph を次のような式として表す。

$$Ph = \frac{bI}{aI + 1}$$

$I \rightarrow \infty$ としたときにポテンシャル光合成速度 $I=b/a$ が求められる。図4に、各 He 線照射量のデータにこの式を適応して求めたポテンシャル光合成速度と He 線照射量の関係を示す。

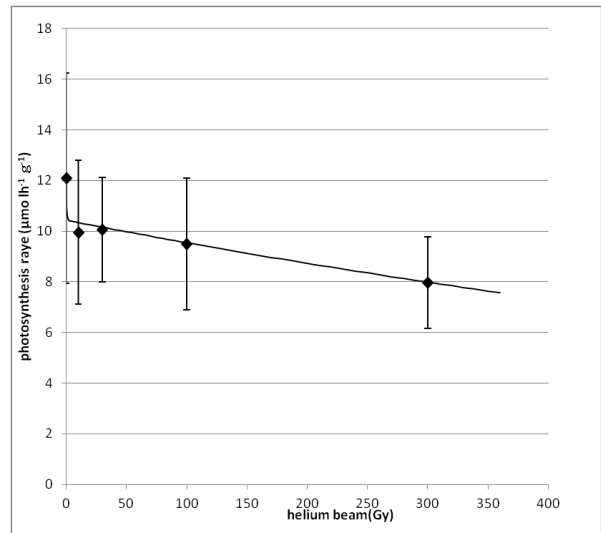


図4、ポテンシャル光合成速度と He 線量の関係

地衣類が同じ表面から He 線量 Ir_0 の照射によって光合成速度が $1/e$ となると、He 線量 Ir の照射による光合成速度は、

$$Ph_{max} = Ph_0 \cdot \exp\left(-\frac{Ir}{Ir_0}\right)$$

となる。ただし、 Ph_0 は He 線を照射していないサンプルのポテンシャル光合成速度である。

いま、地衣類の面は皮層の面と髄層の面に分かれているから、皮層に覆われている面の比率を c、全体が皮層に覆われている面としたとき光合成速度が $1/e$ となる He 線量を Ir_1 、全体が皮層で覆われていない面としたときの光合成速度が $1/e$ となる He 線量を Ir_2 とすると

$$Ph_{max} = Ph_0 \left\{ c \cdot \exp\left(-\frac{Ir}{Ir_1}\right) + (1-c) \cdot \exp\left(-\frac{Ir}{Ir_2}\right) \right\}$$

が得られる。これを図4のデータにあてはめると、 $Ir_1=1124$ 、 $Ir_2=0.45$ 、 $c=0.86$ となった。 R^2 乗値は 0.994 となった。図4、近似曲線としてこれらの値を上式の推定式に代入した曲線を示す。

5. まとめ

今回照射した線量は多くの生物で生きていくことが不可能な線量であり、宇宙空間で数百年から数千年の間に浴びると考えられる量である。この線量で生存が可能か否か自体特筆すべき内容ではあるが、光合成が今回調べたすべての線量について見られたこと、その減少率は 50% に満たないことから、今後たんば計画の実験において宇宙空間で暴露された時にも光合成能力を保つことが期待できる結果であった。

DEM-LBM カップリングによる土の破壊・侵食解析

Numerical Analysis of Failure and Erosion of Soils by DEM-LBM Coupling Method

Key words: Distinct Element Method, Lattice Boltzmann Method, Seepage Flow

施設機能工学分野 藤名 瑞耀

1. はじめに

本研究では、特に土の破壊や侵食に焦点を当て、粒状体の計算方法である DEM (個別要素法) に、流体の計算方法である LBM (格子ボルツマン法) を組み合わせ、不連続体ベースのアプローチから浸透流に起因する土の現象 (破壊・侵食) の二次元シミュレーションを試み、土の現象の理解と予測を可能にすることを目的とした。

個別要素法と格子ボルツマン法、およびそのカップリング手法それぞれの計算手法について理解を深め、土粒子と浸透水を用いて実際に二次元シミュレーションを行い、浸透流の流れの中で土粒子がどのような挙動を示すのかを計算した。その中でシミュレーション条件に合わせて滑り境界条件を新たに設定し、どの密度勾配の場合にボイリング現象が発生するのかを見極め、限界動水勾配を求めた。さらに限界動水勾配後 (浸透破壊後) の土粒子挙動を調べるため、密度勾配をわずかに増加させてシミュレーションを繰り返し、藤澤らによる土粒子・浸透水の浸透破壊後の挙動予測理論¹⁾や限界動水勾配の理論値との比較を行った。

2. 土粒子モデルの作成

土粒子を仮定した多孔質体モデルの作成²⁾は、DEM 計算を用いて行った。矩形領域において重ならないようにランダムに配置した粒子 (図 1(a)) を重力落下させて安定状態を待った。その際、重力加速度は下向きに作用させた。用いたのは粒径 $20\Delta x$ の単一粒径粒子である。ここで、 Δx は LBM における格子幅である。安定状態に至った後、所定の範囲以上の粒子を削除し、図 1(b) のような土粒子モデルを作成した。この操作により、実際のシミュレーションに用いる粒子数は 92 個となった。なお、DEM-LBM カップリング計算は水平方向で行うため、図 1(b) では図 1(a) から 90 度回転させた状態を示している。

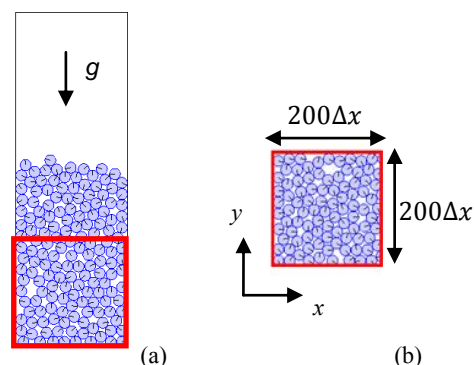


図 1 土粒子モデル

また、LBM 計算上においては、DEM 計算上における土粒子半径 $10\Delta x$ に土粒子が接触したときのオーバーラップ (重なり) を無くすために 0.99 を掛け、さらに二次元における土粒子接触時の流体の通り道を確保するために 0.8 を掛けたものを用いて計算を行う。すなわち、LBM 計算上での土粒子半径は $7.92\Delta x$ となる (図 2)。

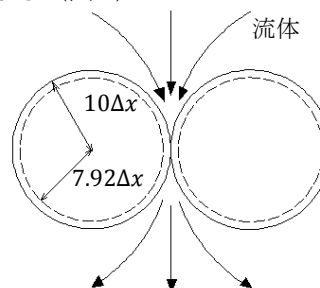


図 2 LBM 計算上での土粒子半径の扱い

3. 浸透破壊後の土粒子挙動二次元シミュレーション

本節では、実際の二次元シミュレーションを行うにあたっての条件やシミュレーションを行った結果について述べる。

3.1 シミュレーション条件

LBM にはこれまでに様々な粒子速度分布の衝突モデルが提案されているが、本研究では非圧縮流体を取り扱うための簡単なモデルである格子 BGK モデルを用いた。速度モデルは、Hou ら³⁾による 2 次元 9 速度 (2D9V) モデルを採用した。

図 3 に示すように、解析領域は $200\Delta x \times 1000\Delta x$

とし、左端を一定流入境界、右端を自由流出境界とした。土粒子の占める領域は $200\Delta x \times 200\Delta x$ である。土粒子を構成する粒子表面には Bounce-back 法による滑りなし境界条件を適用し、用いる粒子数の少なさを考慮して上下の固体壁表面には滑り境界条件を適用した。また、重力加速度は x 方向負の向きに作用させた。

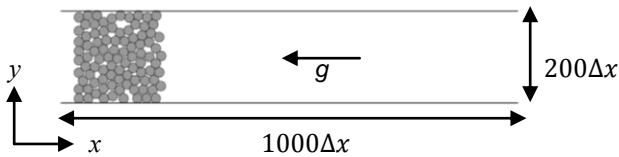


図3 シミュレーション領域

LBM においては、密度分布関数の時間発展を解いているために境界条件として圧力を直接取り扱うことはできないので、流入部と流出部に一定の密度差（密度勾配）を与え、その密度差を変えることによって異なる浸透流を発生させる。

3.2 シミュレーション結果

シミュレーションを繰り返した結果、流入端と流出端の密度差 $\rho_{in} - \rho_{out} = 0.0236$ のときに限界動水勾配を迎えると考え、限界動水勾配時の圧力勾配（シミュレーションの際は密度勾配に変換）からの増加率を ε として、 $\varepsilon = 0.005, 0.01, 0.02$ のときの圧力勾配においてそれぞれシミュレーションを行った。そのときの土粒子速度と浸透流速の時間変化について、シミュレーション開始から 1.8~2.4 秒後の結果を抽出したものが図4である。なお、シミュレーション開始後約 2 秒間は重力の影響が大きいため、また、2.4 秒後以降は速度に大きなバラツキがでたため、考察を行う上では考慮していない。

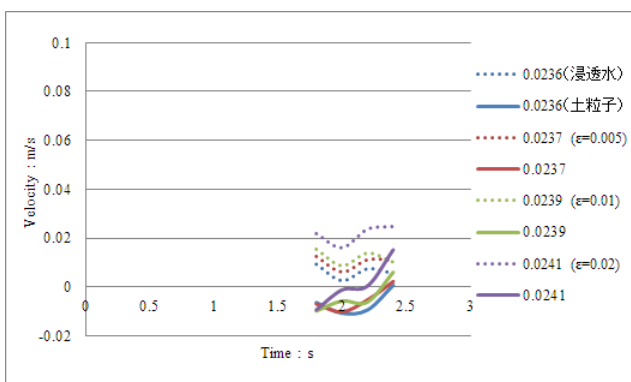


図4 シミュレーション結果 (1.8~2.4s)

3.3 理論との比較

図5は、藤澤らによる浸透破壊後の土粒子速度と浸透流速の予測理論に基づく、浸透流速と土粒子速度の時間変化を表わしたものである。

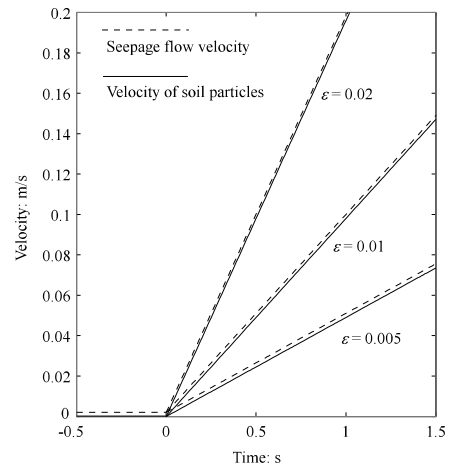


図5 浸透流速と土粒子速度の時間変化 (引用: 藤澤ら)

図4における2秒後の段階を図5における0秒後の段階であるとして見ると、図4に示した範囲内では図5の藤澤らの理論と似たような形状の結果を得ることができたのではないと思われる。

また、限界動水勾配の理論値 i_c を求めると、 $i_c = 0.45325$ となった。シミュレーション結果から求めた限界動水勾配（圧力勾配） $i = 0.43635$ との相対誤差は 3.7% であり、決して理論値と一致したとは言えないが、ある程度近い解を得ることができた。

4. おわりに

二次元シミュレーションの結果、さらなる検討が必要ではあるが、藤澤らの理論に基づく結果と一部類似する結果を得ることができ、限界動水勾配の理論値ともある程度近い解を求めることができた。

今後の研究においては、粒子数を十分に多くするなど現実に近い状況でのシミュレーションを行い、より理論値に近い解が得られるよう検討していきたい。今回は藤澤らの理論に初期の時間においてのみ類似する結果が得られたが、ある程度時間が経過するまでの予測シミュレーションもできるようにしたい。また、プログラムの自主開発も行っていけるよう努力し、二次元でうまく計算できるようになれば三次元でのシミュレーションにも挑戦していきたい。

5. 参考文献

- 1) 藤澤和謙, 村上章: 鉛直上向きに生じる浸透破壊後の浸透流速と土粒子速度の予測理論, 地盤工学ジャーナル (条件付採用可) .
- 2) 福元豊, 阪口秀, 村上章 (2013) : 3次元格子ボルツマン法による砂質土の間隙流体シミュレーション, 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 612-613.
- 3) Hou, S., Zou, Q., Chen, S., Doolen, G., Cogley, A. C. (1995) : Simulation of Cavity Flow by the Lattice Boltzmann Method, Journal of Computational Physics, **118**, 329-347.

花粉が金属メッシュセンサの透過特性に及ぼす影響*

Effect of Pollen Attachment on Transmission Property of Metallic Mesh Sensor*

Key words: Metallic mesh, Cedar pollen, Transmission measurement, FDTD

生物センシング工学分野 實来 昂平

1. 背景

花粉症は、花粉によって引き起こされるアレルギー疾患であり、鼻炎や結膜炎を引き起こす。全国的な調査としては、花粉症を有する者が 29.8%であったとの報告もある¹⁾。そこで、花粉ばく露を防ぐため、花粉症患者へ飛散予測を周知するため花粉数計測が行われている。

従来の花粉飛散量測定には、屋外に 24 時間設置したスライドガラス上に付着する花粉数を直接検鏡するダーラム法が用いられているが、計測に時間と熟練が求められる。一方、流路を通過する花粉に照射する可視光域のレーザー光の散乱量から花粉数を見積もる方法がある。しかし、必要なセンサの数が多く、計測する機器が高価といった問題がある。

我々は迅速・簡便な微量物質検出の実現を目指し、金属メッシュと言われる網目状の金属薄膜を用いたセンサ応用を行ってきた。開口幅以上の粒子を集積させることができるのに加え、表面の複素屈折率変化に応じて生じる電磁波の透過特性の変化を利用して微量物質を検出できることが報告されている。しかし、従来は開口部に対して十分小さく、均一に付着した物質の定量が行われてきた。しかし、金属メッシュ開口上に載った花粉のように不均一に付着した物質の定量測定は行われていない。そこで、本研究は金属メッシュを用いた花粉の定量測定の可能性を明らかにするために花粉と同程度の形状をもつガラスビーズを金属メッシュで定量測定し、横軸を波長、縦軸を透過率とした透過スペクトルに与える影響を確認した。また、従来のような均一な物質と今回のような粒子状の開口に対して大きな粒子がついた場合の透過特性の変化を比較するために FDTD(時間領域差分)法を用いて解析を行った。そして、実際にスギ花粉を用いて金属メッシュによって定量測定を行った。

2. 原理

本研究では微細加工技術で作成された厚み 6 μm のニッケル薄膜に 18 μm 角の正方形孔が 26 μm の間隔で正方格子状に配列した金属メッシュ(村田製作所社製)を用いた。金属メッシュはその構造寸法に依存した特定波長の電磁波において金属メッシュの開口率を大幅に超えた異常透過現象が生じる。この現象は

表面プラズモンの共鳴励起や回折エバネッセント波の共鳴現象によって金属メッシュ表面に発生した表面波と入射電磁波が共鳴して発生すると考えられている²⁾。また、このとき金属メッシュ表面に電場が局在する。この電場内に物質が付着すると屈折率変化により透過スペクトルの周波数特性がシフトするため、センサとしての利用が可能となる。図 1 に本研究で用いた金属メッシュの構造を示す。

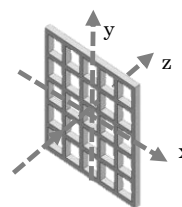


図 1 金属メッシュの構造

3. 実験

3.1 ガラスビーズを用いたモデル実験

まず、ガラスビーズを用いて開口に対して大きな粒子状物質が金属メッシュの透過スペクトルに与える影響について調べた。スギ花粉と同程度の形状と大きさの平均直径 30 μm ガラスビーズ(和光純薬工業社製)を用いて定量測定を行った。材質はソーダ石灰ガラスで密度は 2.5 g/cm^3 、屈折率は波長 30 μm で 2.54 である³⁾。篩を用いて金属メッシュ上にガラスビーズを散布し、透過測定を行った。測定条件は、分解能は波数換算で 2 cm^{-1} とし、積算回数 100 回である。装置はフーリエ変換型赤外分光光度計 FARIS-1S(日本分光社製)を用いた。金属メッシュ中心部 1 mm 四方内を直接検鏡し花粉数をカウントした。その結果、透過スペクトルの 30 μm 付近の透過率のピークがガラスビーズ数の増加に伴って減衰する現象が見られ、この減衰を用いて粒子状の物質を定量できる可能性が示唆された。

3.2 FDTD 法による解析

FDTD 法の解析ソフト上で実際に用いた金属メッシュと同様の開口が 16 個配列したモデルを作成し、開口部に一開口ずつ誘電体を充填(以下、開口充填型誘電体と呼ぶ)し、それぞれの透過スペクトルを算出した。また、同じ体積の誘電体をそれぞれの厚みが均一なシート状に付着した誘電体(以下、シート状誘電体と呼ぶ)

*農業食料工学会関西支部報第 116 号に
一部掲載

についても同様に透過スペクトルを算出した。使用したソフトは Poynting (富士通社製)、側面境界は周期境界条件、金属メッシュモデルの金属物性は完全導体、波源は平面波垂直入射とした。誘電体は屈折率が 2.54、消衰係数は 0.19 である。

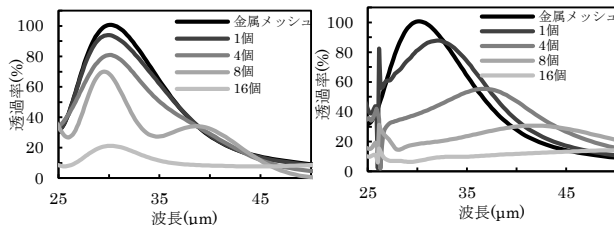


図 2 誘電体充填数増加に伴う透過スペクトルの変化
(右)開口充填型誘電体 (左)シート状誘電体

図 2 に誘電体数の増加に伴う透過スペクトルの変化を表した図を示す。図 2 のグラフからシート状誘電体は誘電体数の増加に伴いピーク透過率の減衰に加え、ピーク透過率の波長が長波長側にシフトした。また、開口充填型誘電体ではピークの透過率の減衰は確認されたが、波長のシフトは確認されなかった。図 2 の右図のスペクトルのゆがみは誘電体配置による回折の影響と考えられる。この結果から開口に充填されるように存在する物質は透過率の減衰から定量できる可能性が示された。

3.3 花粉の定量測定

直径 20 ~ 30 μm のスギ花粉(和光純薬工業社製)を 3 章第 1 節の実験と同様に透過測定し、花粉数を検鏡した。また、金属メッシュがない場合の結果を比較するために厚み 5 μm の誘電体シートを基板にし、同様に透過測定、ならびに直接検鏡を行った。そして金属メッシュと誘電体シートの透過スペクトルと花粉数の増加に伴うピーク透過率の減衰量の比較を行った。測定で得られた金属メッシュのスペクトルを図 3 に示す。

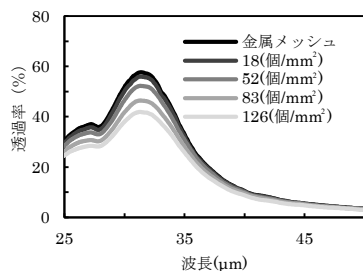


図 3 花粉数増加に伴う金属メッシュの透過スペクトル変化

花粉が散布されると花粉数の増加に伴い FDTD 法による解析と同様に 30 μm 付近におけるピークの透過率が減衰した。金属メッシュのピーク周波数における花粉の増加に伴う透過率の減衰率を算出した。この減衰率とは透過率の減衰量をもとのピーク透過率で除した値である。また、花粉が載った開口の数の割合を理論

値の充填率として算出し、測定で得られた透過率の減衰率と比較した。金属メッシュ、誘電体シートと理論値の充填率の各単位面積当たりの花粉数と 30 μm の透過率減衰割合の関係を示したグラフを図 4 に示す。

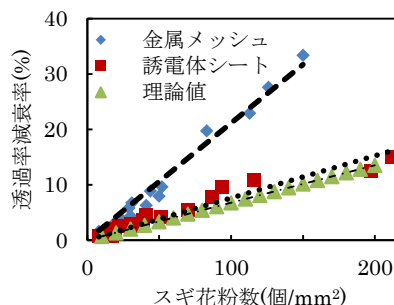


図 4 花粉数増加に伴う透過率減衰量の変化

図 4 の線形近似によって算出した近似直線の傾きから、金属メッシュを用いることで花粉数に対するピーク透過率の減衰率が約 2.8 倍に増加し、また理論値と比較しても約 3.1 倍に増加したことから金属メッシュによって透過率の減衰率が増加されたことが示された。これは金属メッシュが表面の電場増強によって表面に付着した物質に敏感であり、透過率の減衰は吸着する物質の量を高感度に反映しているためであると考えられる。また、金属メッシュ上に花粉のような不均一な物質が付着することによって表面で生じた共鳴現象が妨げられ異常透過現象が減衰したことから、透過率が大きく減少したものと考えられる。モデル実験、FDTD 法による電磁界解析と同様の現象が生じ、透過率の減衰率から花粉数に定量性があることが示された。

4. まとめ

本研究では、金属メッシュによる花粉の定量測定の可能性を明らかにするため、ガラスビーズによるモデル実験、FDTD 法による電磁界解析により金属メッシュ上の不均一な誘電体の定量測定を行ったところ、透過スペクトルのピークの透過率が減衰する現象が見られた。また、均一な誘電体はピークの透過率の減衰に加え、ピーク透過率の波長の長波長側へのシフトが見られた。実際にスギ花粉を用いて同様に透過測定を行い、検鏡すると、花粉数の増加に伴い同様にピークの透過率の減衰が現れ、ピークの透過率の減衰率を用いることでスギ花粉数の定量測定の可能性が示された。

参考文献

- 1) 環境省(2009), 花粉症環境保健マニュアル
- 2) 菜嶋茂喜, 小川雄一 (2013): テラヘルツ帯プラズモニク結晶の光学機能とその先端応用, 電機学会論文誌 C, 133(3), 484-489
- 3) E.D. Palik. (1985): *Handbook of Optical Constants of Solid*, Academic Press Inc

収穫作業時の運搬車運用の最適化に関する研究*

Study on an optimization of truck operation at harvesting*

Key words: harvesting, combine harvester, optimization

農業システム工学分野 牧野 高馬

1. はじめに

農業機械の大型化・高速化に伴い、生産性の向上を図るため、圃場の大区画化・集積化が進んでいる。また、集落営農は、主に高齢化などにより担い手が不足している地域において、農業、農村を維持していくために有用な形態であると考えられており、全国的に展開・拡大されている。

ここで、農業生産法人を含めた農業法人については、地域における雇用創出や農業生産活動の活性化、農地の保全と有効な活用に寄与するなどのメリットがあることから、今後も積極的に法人の育成を図っていくことが重要となる。集落営農に関しても法人化が進んでおり、法人農業経営体数は、全農業経営体に占める割合は1%（平成22年）に過ぎないものの、平成17年に比べて2千経営体（13%）増加し、2万2千経営体となっている¹⁾。このような法人経営体の増加と大規模化が進んでいる状況を踏まえると、法人農業経営体数は、今後さらに増加していくものと考えられる。しかしながら、現在までに存在する法人農家の中で、生産規模の拡大を順調に行い、十分な利益を生み出しているものはまだまだ少ない。一つには生産基盤の貧弱さが原因として考えられる。経営体質の強化を図るために、経営規模拡大は必要で、そのための資金・経営力・労働力もそれに伴って必要である。具体的に集落営農の法人化の失敗要因を考慮に入れた方策の一つとしてここでは、計画的な生産、機械利用といった点に注目する。

作業計画を事前にしっかり立てた農家と、勘に頼り農作業をしている農家とでは、明らかな収量の差が見られるが、作業計画を立てた農家についても全て目標の収量を得ることが出来たわけではない²⁾。作業計画を事前に立てることの推奨はもちろんだが、それも莫大な過去の、その土地での農作業データによって予測される作業スケジュールである必要がある。ただし、そういった作業スケジュールを提案できるようなプログラムの作成には、長年蓄えられたその土地ごとの農作業データが必要不可欠である。よって、今回の卒業研究では、全体の最適化ではなく、特にアウトプットの部分である収穫から乾燥までの作業に関して必要なリソースを割り出し、作業スケジュールの最適化を行った。

2. 方法および結果

本研究で対象とする実験圃場は、京都府南丹市八木町氷所にある圃場である（図1）。



図1 京都府南丹市八木町氷所の対象区

その中の3つの圃場に関して、2013年9月18日にコンバインで稲の収穫作業を行う。作業の様子はGPSデータとして取得する。今回はGPS世界標準であるNMEAフォーマットの\$GPGGAメッセージでデータを出力する。なお、これはWGS84なので、日本測地系に補正し直す。そしてその後、補正して得られた緯度と経度を、平面直角座標へUTM変換する。ただし、平面直角座標系は「VI系」とする。

2.1 巡回時間と作業速度の導出

まずは、作業を行っている時間とそれ以外の時間とに分ける。「こぎ深さメインスイッチ」が0から1、あるいは1から0に変化する点を始点と終点に決定する。「作業時間」を導出する際に「横座標(m)」、「縦座標(m)」が始点と終点の2点においてわかっているので、その2点の座標から三平方の定理を利用することにより、始点と終点の2点間の距離を求めることができる。

(収穫作業を行った距離)[m]

$$= \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

「作業速度」は圃場の大きさに直接依らない値となっている。よって、任意の長方形圃場の「作業時間」を求める際には、この「作業速度」を利用して、長

*農業食料工学会関西支部報第116号に
一部掲載

辺と短辺の大きさから「作業時間」を求める。

次に「巡回時間」に関しては、1周目と2周目、さらに3周目以降、そして短辺方向の長さがある程度短くなってからの各段階においてその値が大きく異なるため、4段階それぞれにおける値を利用する必要がある。この各段階の「巡回時間」というのは、実験圃場から得られたデータの解析結果を利用して算出する(表1,2,3)。

表1 圃場1の「巡回時間」と「作業速度」

	巡回平均時間(s)	作業平均速度(m/s)
1周目	91.73	0.8487
2周目	24.83	1.0199
3周目以降	15.44	1.2129
最終1.5周	25.23	

表2 圃場3の「巡回時間」と「作業速度」

	巡回平均時間(s)	作業平均速度(m/s)
1周目	113.47	0.5425
2周目	35.50	0.6397
3周目以降	17.86	0.7410
最終2周	23.73	

表3 圃場4の「巡回時間」と「作業速度」

	巡回平均時間(s)	作業平均速度(m/s)
1周目	87.67	0.6362
2周目	28.72	0.7141
3周目以降	10.92	0.7881
最終4周	19.00	

2.2 圃場データ

対象区は、図1のように上矢印で示した乾燥施設を利用していると思われる対象区にしておき、道路や水路で区切られた領域となっている。また、この画像の範囲内には、多数の圃場や圃場以外にも建造物などが存在しているが、本研究では長方形の圃場に限定して、この画像を分析する。今回の場合は174の長方形とみなせる圃場のみを取り出すこととする。具体的には、各圃場の長辺と短辺の長さ、および各圃場の道路に面した辺の真ん中の点から乾燥施設までの最短距離をGoogle Earthの「定規」機能を利用して求め、Excelシートにまとめる。

2.3 グループ化と遺伝的アルゴリズム

割り出した作業時間から、さらにアイドルタイムを生まないように必要なトラックの最適台数を求める。このトラックの最適台数に応じた圃場群をグループ化する。その際には、多数存在する圃場をいくつかのグループに分ける組合せの最適化問題と捉えて遺伝的アルゴリズムの考え方をを用いる。ここでは、ある任意の地域Dに存在する最適トラック台数vが等しい圃場をpとし、各圃場での作業時間をh(p)と

すると、1日の作業時間である7時間を用いて、各地域でのグループ数は

$$G = \left\lceil \frac{\sum_D(h(p))}{7} \right\rceil + 1$$

とする。なお、圃場番号、短辺長さ、長辺長さ、圃場作業時間、圃場と乾燥機との距離のテキストファイルを本プログラムでの入力情報とする。

スケジュール作成条件としては、優先度が高い順に(1)作業適期内に最適トラック台数が一定数以下の圃場すべてで収穫作業を行うこと(2)可能な限り同時に使用するトラックの台数を抑えること(3)可能な限り短期間で最適トラック台数が一定数以下の圃場すべてで収穫作業を終えること(4)可能な限り同時に使用するトラックの台数を抑えること(5)可能な限りトラックの長距離移動を避けること、である。

3. おわりに

グループ化の際の組み合わせ最適化問題における、遺伝的アルゴリズムの評価関数の決定方法に関しては、より一般性の高い決め方を考える必要がある。また、今回は南丹市氷所の実験圃場3つから取得した、収穫作業時のコンバインの動向を示すGPSデータのみであり、十分な調査の基に最適スケジュールの提案まで行うことが出来なかった。よって、今後の展望として、ここまでで記してきた手順を踏み、かつ、評価関数の改善、取得データの拡充などを考慮に入れたうえで、今一度最適作業スケジュールを作成する段階まで進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 平成22年度 食料・農業・農村白書, p.217.
- 2) 大分県(平成24年11月)「おおいた集落営農マニュアル」
- 3) 宮原茂大朗(2013)、メタン発酵消化液の液肥利用に関する研究、京都大学農学部卒業論文
- 4) 佐々木良治、松村修、湯川智行、元林浩太(2006)、水稻生育予測モデルを利用した飼料用イネの播種・収穫作業計画の支援ツール、農作業研究 41(2):59-67
- 5) 金谷豊(2005)、農作業体系化の概観、農作業研究 40(3): 157-162
- 6) 近藤直、清水浩、中嶋洋、飯田訓久、小川雄一(2012)、生物生産工学概論—これからの農業を支える工学技術—、朝倉書店
- 7) 酒井富夫(1995)、早わかり農業法人のすべて メリットと設立・運営の手引き

マイクロ波照射によるトマトへの生長の影響*

Effects of microwave on growth of Tomato*

Key words: electromagnetic wave, non-thermal effect, plant growth

農業システム工学分野 松本 紘実

1. 緒言

近年、無線通信技術の発達と利用増加によって、電磁波を曝露する機会が増えた。それに伴い、電磁波の生物への影響が懸念されている。電磁波は医療や通信目的で、テレビやラジオ、衛星放送など様々なものへの利用が進み、現在私たちの生活に欠かせない重要なものになっている。それゆえ、マイクロ波が植物に与える影響を明らかにする必要がある。

2. 実験方法

2.1 実験目的

マイクロ波を短時間照射すると植物に影響が出る可能性は、多く既往の研究で示されている。しかし、マイクロ波を長時間照射する実験はあまりなされていない。ゆえに、マイクロ波を植物に照射した場合、植物の形態にどのような影響を与えるのかを調べる。今回の実験では、対象植物にトマトを用いている。これは、マイクロ波照射によって、生長の促進や抑制など植物の形態に変化が生じた場合、その後遺伝子レベルでその影響を分析し、マイクロ波が植物に与える影響のメカニズムを明らかにするためである。ゆえに遺伝子配列が公開されているトマトを用いた。また、実験の収穫時期で苗の状態を定量的に評価するために、生体重と乾物重だけでなく、根の長さ、茎長や葉面積を測定した。

2.2 実験方法

供試植物にはトマト(*Solanum lycopersicum* L. cv. Regina)を用いた。4日間種子を暗黒条件下に置いた後、移植を行った。

生育装置として、人工気象器(高山製作所製、NS360、以下チャンバ)を用い、養液を注いだ水槽(幅 83.7cm×奥行 33.4cm×高さ 19.5cm)を置き、水耕栽培用パネル(24穴)を浮かべて実験を行った。養液にはベジタブルライフ A(大塚アグリテクノ株式会社)、pH 調節剤「ダウン」(大塚アグリテクノ株式会社)を用いた。

実験時のチャンバ内の気温、湿度、養液の温度、溶存酸素濃度、pH、導電率は、随時記録した。

移植から 14 日後植物を収穫し、地上部と地下部に

切り分け、生体重を測定した。また、採取したサンプルの根の長さ、茎長、葉面積を測定するために、Canon 製 Canonscan8200F を用いて画像を取得し、その後乾物重を測定した。

表 1 栽培条件

栽培方法	水耕
光条件	明期 12 時間/暗期 12 時間
気温	明期 25°C/暗期 23°C
水温	22°C
pH	6.0~6.5

実験区の栽培では、移植後にチャンバ内天井に設置したアンテナから 2.45GHz のマイクロ波を連続照射した。栽培パネルの定植穴の位置で異なる電力密度(0~12mW/cm²)となり、分布は図 1 のようになった。その他の処理は対照区と同様である。

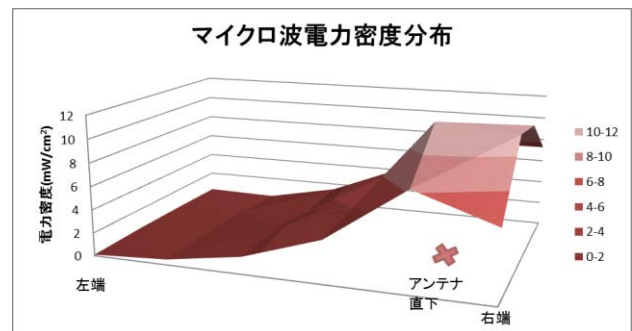


図 1 マイクロ波の電力密度分布

3. 結果と考察

外れ値検定で同じ母集団でないと判断された個体や、測定ミスを含む個体のデータは除き、対照区 20 体と実験区 23 体で t-検定を行った結果、すべての測定項目で有意差がなかった。

図 2 より、対照区と実験区の両方、さらにすべてのパラメータにおいて標準偏差が大きいことが読み取れる。対照区と実験区でそれぞれに結果を大きくばらつかせる要因があると考えられる。この分散を与える要因が対照区と実験区で異なる場合、図 2 の比較が意味をなさなくなるため、この標準偏差を与

える要因を明らかにする必要がある。

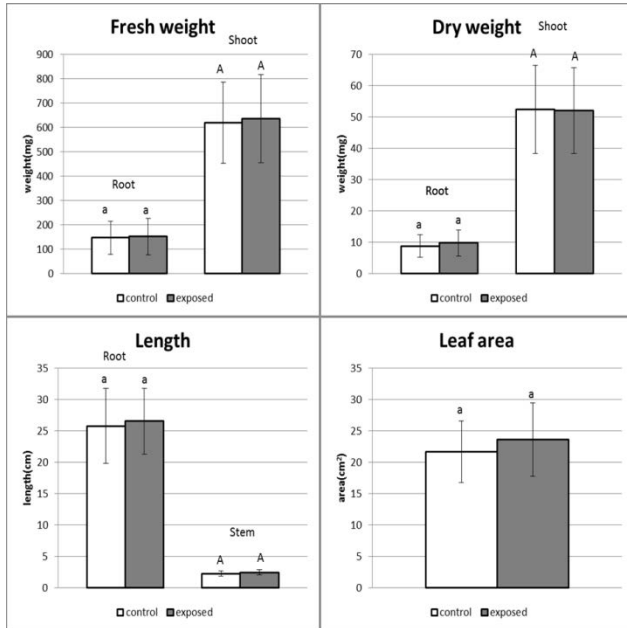


図2 対照区と実験区の比較

まずは対照区で標準偏差が大きい原因について考える。考えられる要因として光強度の分布と気温と水温の分布が挙げられる。ゆえに各定植点における光強度を計測し、その光強度の大きさを $10\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 毎に区切り、生体重の平均をとった結果を図2に示す。t-検定を行った結果、光強度の分布が生体重、つまり植物の生長に統計的に有意な影響を与えているとは言えない。また、水温を測定した結果、光強度に比例した分布を示したので、温度が与える影響は光強度と同様に植物に影響を与えるはずである。このことから、温度の分布によって植物の生長の標準偏差が大きくなっているとは考えられない。ゆえに、この標準偏差の大きさは植物の個体差によるものであると考えられる。

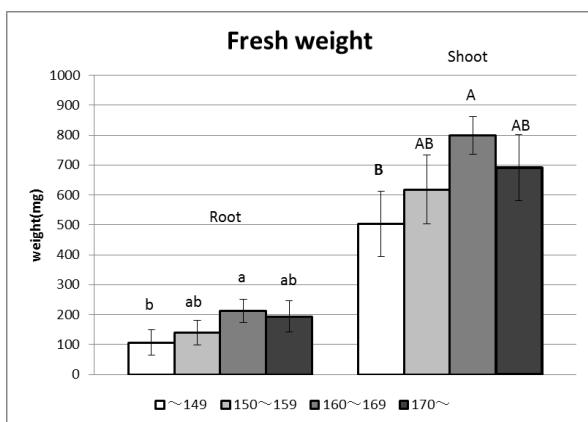


図3 光強度毎の生体重の平均値

次に、実験区で分散が大きい原因について考える。

対照区での考察により、光強度などの生育環境が植物の生長にばらつきを与えているとは考えられないので、他に原因として考えられるのはマイクロ波の電力密度の分布による分散である。これを検討するために、マイクロ波の電力密度毎の生体重の平均値を図3に示す。この結果についても統計的に有意差が見られなかったため、実験区の標準偏差の大きさの原因も対照区と同様、植物の個体差であったと考えられる。



図4 マイクロ波の電力密度毎の生体重の平均値

本研究室での実験で、山本ら¹⁾は播種から3週間マイクロ波照射により、ハウレンソウの生長が促進されるという結果を得ている。今回の実験の結果はこれと異なるものになったが、考えられる理由は2つある。1つは品種による影響の差であり、もう1つは生育段階の違いである。山本の実験では播種から3週間目でハウレンソウの平均葉面積が約 58cm^2 であるのに対し、本実験ではトマトは播種から18日目で平均葉面積が約 22cm^2 であった。マイクロ波の影響の有無が、品種の違いあるいは葉面積の大きさに依存するのを知るためには、実験条件を変更し、さらなる実験が必要であると言える。

4. 結言

本実験の結果、私たちが日常生活で暴露しうる電磁波の電力密度のマイクロ波による、トマトの生長への影響は見られなかった。しかし、マイクロ波の影響が個体差にかき消されてしまった可能性があるため、実験方法を改善する必要がある。また既往の研究との比較より、マイクロ波の影響は植物の葉面積と関係がある可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 山本亮介(2012):マイクロ波(2.45GHz)の長期照射によるハウレンソウの生長への影響, 卒業論文 京都大学農学部.

非構造格子を用いた Darcy 流と Navier-Stokes 流の同時解析

Simultaneous Analysis of Darcy and Navier-Stokes Flows on Unstructured Grids

Key words: Darcy-Brinkman equation, numerical analysis, osmosis

施設機能工学分野 村田 真名美

1. はじめに

フィルダム、ため池堤体等の土構造物では、土の内部に水が浸透することで土粒子の侵食が生じ浸透破壊が起こる可能性がある。このような土構造物内部に存在し得る水みちや空洞が構造物に与える水理学的影響を予測するには、水みち・空洞箇所において通常の流体挙動、それ以外では浸透流の挙動を同時に把握する必要が生じる¹⁾。

本論文では浸透流に Darcy 則を適用し、浸透流を考える領域を「Darcy 相」、水などの流体のみによって占められる領域を「流体相」と呼ぶ。流体相と Darcy 相における流れの同時解析について、支配方程式として Darcy-Brinkman 式を用いた。

本研究では計算セルに三角形セルを用いて、代表的な問題をシミュレートし、特に三角形セルを用いて流体相と Darcy 相の境界部分を安定的に計算する方法について考察した。また、この方法を用いて Darcy 相中に円形空洞の存在する問題について流れをシミュレートした。

2. 支配方程式と数値解析手法

2.1 支配方程式

Darcy-Brinkman 式は式(1)のようになる。

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1a)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{u_i u_j}{\lambda} \right) = -\frac{\lambda}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\lambda g}{k} u_i \quad (1b)$$

ここで、 u_i , λ , ρ , p , ν , g , k は流速、間隙率、密度、圧力、動粘性係数、重力加速度、透水係数を意味し、 t , x_i はそれぞれ時間と直交座標である。間隙率と透水係数の値を変えることで Navier-Stokes 式と Darcy 流の両方を解くことができる。

2.2 数値解析手法

本研究では Kim & Choi (2000) による非圧縮性流体の数値解析手法を参考にした。これは有限体積法を用いて非構造の計算メッシュに対応できる 2 次元

の Navier-Stokes 式の数値解析手法である。この手法の特徴としては、明確に流体相と Darcy 相とを区別できること、流体相と Darcy 相の境界においても質量保存則を厳密に満たすことができることが挙げられる。

2.3 計算セル

本研究では計算格子に三角形セルと四角形セルを使用する。三角形セルを使用すると、曲線等の複雑な形状の相境界を精密に表すことができ、三次元化の際、変数がすくなくてすむという利点がある。一方解析領域の境界条件を設定するのが簡単であるため、領域境界部分は四角形セルを用いて計算する。三角形セル、四角形セルと変数の関係を図 1 に示す。

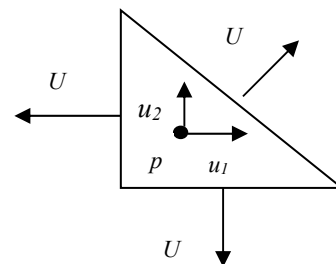


図 1 計算セルと変数の配置

2.4 変数の内挿

計算手続きにおいてセル境界に沿った線積分が現れるため、その境界上における流速や圧力を内挿して求める必要がある。本研究では、セル境界が相の境界となる場合、セル境界の流速 $u_{i,f}$ は Darcy 相のセル中点における流速 u_i と、圧力 $p_{i,f}$ は流体相のセル中点における流速 p_i と、間隙率 $\lambda_{i,f}$ は Darcy 相のセル中点における間隙率 λ_i とそれぞれ一致するように内挿することで、流速の振動が発生するのを防ぐ。また、その際必要なセルの頂点における値は、透水係数が異なるセル同士の境界が存在することをふま

えて透水係数を重みとする重み付平均値とする。

3. 解析結果

以上の方法で、流体相と Darcy 相の境界部分においても三角形セルを用いて次元一様流、二次元キャビティ流れを計算して安定的かつ物理的に自然な解が得られることを確認し、Darcy 相の中に円形の流体相が存在する場合の計算を行った。

3.1 解析条件

計算対象は幅 0.05 m、長さ 0.375 m の水路であり、その中央部に存在している Darcy 相 ($0.125 < x_1 < 0.250$) の中央部に円形の流体相が存在する。メッシュはおもに三角形セルを用い、そのまわりを四角形セルで囲んでいる。Darcy 相では間隙率 0.4、透水係数 $1.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ とした。境界条件として、左端に 0.0016 m/s の流速を与え、右端の圧力をゼロとした。流速を規定した右端では $\partial p / \partial n = 0$ 、圧力を与えた左端では $\partial u_i / \partial n = 0$ とし、上下面にはスリップ条件を課した。初期状態は流速、圧力共にゼロとし、時間間隔 $\Delta t = 1.0 \times 10^{-5}$ 秒として、定常状態に至るまで計算を行った。

3.2 解析結果

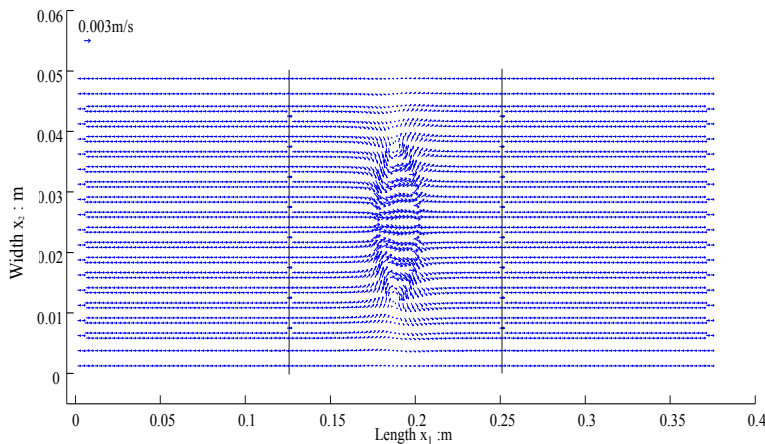


図 2 流速計算結果

図 2 に示したものは、ほぼ定常となった 2.6 秒後の流速分布である。これより、Darcy 相の中の圧力が低くなった円形の流体相に吸い込まれるような流れが生じているのが確認できる。円形の空洞付近以外では境界条件として与えた流速 0.0016 m/s の流速を保っている。

4. 結論

本論文では、Darcy-Brinkman 式という一組の支配方程式によってその同時解析を行う手法を、より現実の問題に適用できるようにするため、計算格子に三角形セルを採用して安定的な解を得ることを目指した。そこで、Darcy-Brinkman 式、空間離散化に有限体積法を用いた非圧縮性流体の数値解析手法、今回試みた変数の内挿方法について述べ、いくつかの基本的な問題についてシミュレーションを行った。三角形セルを導入し、相の境界における計算についても安定かつ物理的に自然な解を得るには以下の点に注意する必要がある。

1. 相の境界では隣り合うセルの透水係数が異なる。そのため、複数のセルが共有する頂点の値を求める際、透水係数によって重みを付けた平均値を求める必要がある。
2. 一様流で、相の境界において流速の振動が生じ、特に三角形セルで大きくなる。このため流体相と Darcy 相の境界で振動を抑えるよう間隙率、圧力勾配を採用する必要がある。

本論文では、これらの注意点を具現化し、いくつかの数値解析例を示した。この結果から三角形セルを用いた相境界の計算においても同時解析の手法を用いて安定的で物理的に自然な解を得ることができた。

この手法は三次元化することを見据えて三角形セルを導入したが、実際問題の解析を行うためには三次元化し、また乱流等現実起こり得る流れの計算を行えるようにすることが必要である。

参考文献

- 1) 藤澤和謙, 有本慎一, 村上 章 (2013) : Darcy-Brinkman 式を用いた非圧縮性流れと Darcy 流の同時解析手法の開発, 農業農村工学会論文集, 81(5), 419-428.
- 2) Dongjoo Kim and Haecheon Choi (2000): A Second-Order Time-Accurate Finite Volume Method for Unsteady Incompressible Flow on Hybrid Unstructured Grids, Journal of Computational Physics 162, 411-428.
- 3) Chan, T.F., Gallopoulos, E., Simoncini, V., Szeto, T. and tong, C.H. (1994): A quasi-minimal residual variant of the Bi-CGStab algorithm for nonsymmetric systems, SIAM j. Sci. Comput., 15(2), 338-347.

信楽森林流域における流出特性から見た水資源評価

Water resources evaluation judging from characteristics of outflow in Shigaraki forest catchments

Key words: Bedrock groundwater, Evapotranspiration, Outflow

地域環境工学分野 森 雄一

1. はじめに

現在、地球温暖化等の環境問題によって豊富で高品質な水資源の確保が重要になっている。人間生活の影響を受けやすい都市部の地下水と比べ、森林流域の渓流水や地下水は高品質で人間生活の影響を受けにくい。そのため、森林流域の渓流水や地下水を新しい水資源として開発することができれば大きな意義がある。

本研究では、滋賀県信楽に位置する単峰の山の森林流域の湧水を対象として水文調査を行い、流域内の貯留量評価における基岩浸透の影響を明らかにし、水資源の利用可能性を評価することを目的とする。

2. 材料と方法

2.1 調査地域の概要

滋賀県甲賀市信楽町に位置する金山を調査対象地域とした。金山の標高は約 562m であり、基岩地質は堆積岩で構成され、小起伏山地に分類される。本研究では金山に観測された湧水地点を元に 6 つの流域を設定し、それぞれ C, D1, D2, E, F, G 流域と名付けた。各流域の末端部はほぼ同じ標高になるようにした (図 1)。

2.2 水収支データ

各流域で一定期間の水収支をとって評価した。期

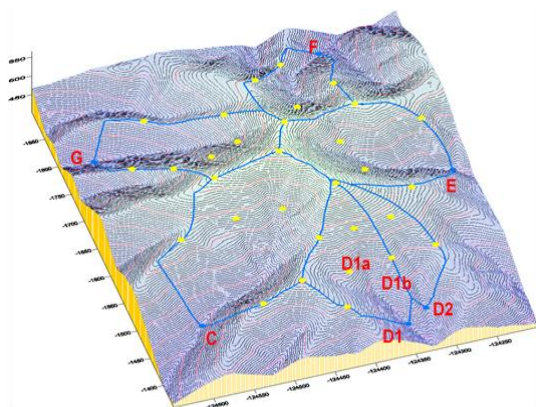


図 1 金山の地形と設定した流域

間は通減部から通減部である 2012/11/5~2013/8/19 とした。取り扱うデータは降水量, 流量, 蒸発散量, 基岩涵養量である。

(1) 降水量 R 各流域とも基本的に雨量計によって実測した。欠測はアメダスによって補った。

(2) 流量 Q 三角堰と水位計を利用して測定した。測定間隔は 5 分で、日単位に整理した。比流量の計算においては、流域面積が必要となるが、各流域の流量の同期間の合計値が同じと仮定して、6 つの流域からの流量の合計に対する各流域の流量の比を全流域面積に乗ずることで、流域面積を算定した。

(3) 蒸発散量 ET 蒸発散量を推定する方法として 2 つの方法を用いた。1 つは信楽の気象データから Penman 法によって日蒸発散位を求め、同期間の蒸発散の合計が降水量の合計と流量の合計の差に等しくなるように一律の補正係数を乗じて求めた (以下, ETa) (堀野ら, 2001)。もう 1 つは、鈴木(1985)による近隣の滋賀県大津市の桐生試験地の 1972 年~1976 年の月別の蒸発散量の Penman 値の平均値と短期水収支法で求めた蒸発散量の実測値との比を求め、その比の値を月ごとの補正係数として今回の Penman 式の値に乗ずる方法である (以下, ETb)。ETa は流出に寄与しない基岩浸透量 (以下, 基岩涵養量) を考慮せずに水収支を考えており, ETb は実蒸発散量を推定値で与え, 基岩涵養量を考慮して水収支を考えている。両者を比較することで基岩涵養量の有無による違いを検討した。

(4) 基岩涵養量 P 4 段タンクモデルを用いて算出した。4 段目タンクからの浸透量を基岩涵養量とした。

2.3 総合貯留量

総合貯留量 (DS) とは、降水の時系列を流量の時系列に変換するための貯留量 (堀野ら, 2001) で、流域が少なくともこれだけの貯留量を有していることを判断できる。基岩涵養量を考慮しない場合は、R-Q-ETa の日単位データを積算したときの最大値と

最小値の差で表される。一方、基岩涵養量を考慮する場合は、 $R-Q-ETb-P$ の積算値の最大値と最小値の差とした。前者を DSa 、後者を DSb とする。

3. 結果

R と Q の経時変化を図 2 に、各流域の P の経時変化を図 3 に、D1 流域の貯留量積算値を図 4 に、各流域の期間内水収支と DSa 、 DSb を表 1 に示す。

基岩涵養量を考慮した総合貯留容量は考慮しない場合に比べて小さくなることがわかった。また、基岩涵養量を考慮した場合、基底流量が多かった D1 流域において総合貯留容量が最も大きかった。

4. 考察

基岩浸透量と 2 つの蒸発散量との関係は、 $\sum ETa = \sum ETb + \sum P$ である。実際の P は図 3 からわかるように日ごとに変化するため、貯留量積算値 (図 4) 及び

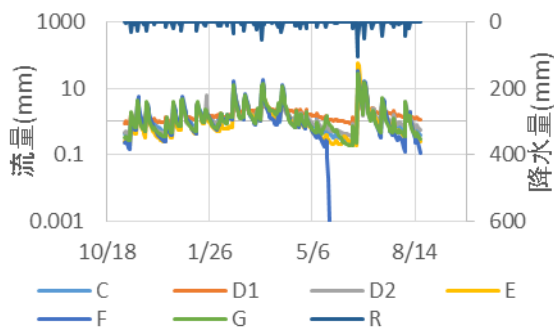


図 2 流量と降水量の経時変化

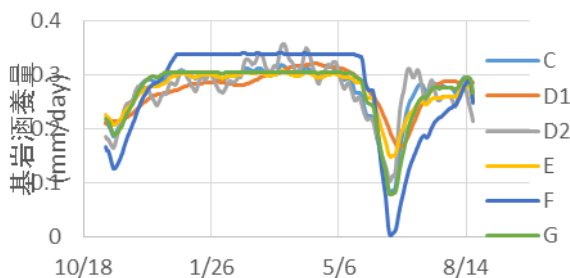


図 3 基岩涵養量の経時変化

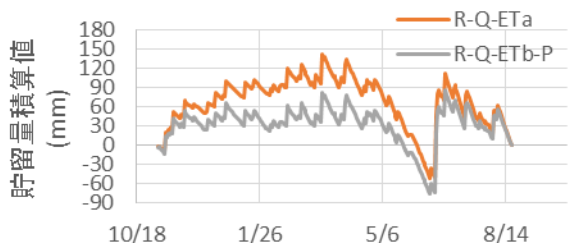


表 1 各流域の水収支と総合貯留容量

流域	合計R(mm)	合計Q(mm)	合計ETa(mm)	合計ETb(mm)
C	1120.5	517.8	602.7	524.5
D1	1120.5	517.8	602.7	524.5
D2	1120.5	517.8	602.7	524.5
E	1120.5	517.8	602.7	524.5
F	1120.5	517.8	602.7	524.5
G	1120.5	517.8	602.7	524.5
流域	合計P(mm)	DSa(mm)	DSb(mm)	
C	78.2	156.3	124.8	
D1	78.2	193.6	162.8	
D2	78.2	163.0	127.0	
E	78.2	195.0	137.9	
F	78.2	151.4	120.5	
G	78.2	177.5	141.5	

総合貯留量 (表 1) の 2 つの指標の違いは、 P の日ごとの変化の違いから生ずるものと考えられる。

$ETa > ETb + P$ であれば図 4 の $R - Q - ETa$ は $R - Q - ETb - P$ より減少量が大きくなり、 $ETa < ETb + P$ であれば $R - Q - ETb - P$ は $R - Q - ETa$ より減少量が大きくなると考えられる。総合貯留量の 2 つの指標の違いも図 4 を見ると最大値の差の影響が大きいので、 P の変化量が大きいほど総合貯留量が小さくなると思われる。

流出に寄与する貯留量は水資源として利用すると流量に影響が出る。そのため、流出に寄与しない基岩涵養量を利用するのがよいと考える。今回の流域では貯留能力が高く、基岩涵養量が安定している D1 流域の利用価値が高いと考えられる。D1 流域の特徴は基底流量が大きく、降水による流量変化が小さいことである。特に基底流量が大きいと、安定した貯留量を持っていると考えられ、そのため安定した基岩涵養量を有しているのではないかと考えられる。

5. まとめ

信楽森林流域の水収支の経時変化と総合貯留量を評価し、基岩浸透の影響と森林地下水の利用可能性を報告した。基底流量の大きさが水資源の利用可能性の判断材料になるということがわかった。これからはより長期の期間での評価をすることで、より詳細なデータが得られるだろう。

引用文献

鈴木雅一(1985)：短期水収支法による森林流域からの蒸発散推定，日林誌，67(4)，115-125
堀野治彦，瀧本裕士，三野徹(2001)：流況の安定化に寄与する流域貯留量評価，農業土木学会論文集，211，59-66

粒子フィルタと境界追跡法を用いた土構造物内の劣化形状推定

Detection of Deteriorated Region in Soil Structures Using Particle Filter and Boundary Tracking Method

Key words: Particle Filter, Phase-field Method, Topology Optimization

施設機能工学分野 山下 伸幸

1. 背景

近年、高度経済成長期に整備された社会資本の耐用年数が過ぎ、今後それらをどのように管理していくのかが喫緊の課題となっている。地盤構造物は、長年にわたって改修や補修が繰り返され、一見すると構造的に問題ない構造物が多い。しかしながら、地盤構造物は不確実性の高い材料により構成されるため、あらゆる方向に不均質になることが多く、場合によっては浸透流によるパイピングホールや空洞などの構造的に弱い領域が存在する。過去のフィルダムの崩壊事例には、その46%がパイピングに起因するものであったという報告もある⁷⁾。したがって、地盤内部の劣化箇所を診断し、豪雨時や地震時の崩壊に対して安全な構造物として維持管理していく必要がある。構造物の診断方法として、サウンディングや物理探査など種々の方法が利用されているが、単一の技術により正確に問題を抽出することは未だ困難であると言える。よって、複数の方法を適切に組み合わせ、その結果を総合的に判断し、診断能力、欠陥抽出能力を向上させることが期待される。本研究は、データ同化の手法と、境界追跡法を適切に組み合わせることを目的とする。

2. 粒子フィルタ

(1) データ同化(Data Assimilation)

予測に伴う不確実性に対処するために、観測値を取り込むことで数値シミュレーションにおける初期・境界条件やパラメータを修正・更新する「データ同化(Data Assimilation)」が提案され、地盤工学における種々の問題に適用されている^{1),2)}。データ同化は主として海洋学や気象学などの地球科学の分野で発達し、逆問題ともいわれる。データ同化は、ある期間内に得た観測値を一括して処理する非逐次型と、刻々と得られる観測値をその都度処理する逐次型に分けることができる。前者ではアジョイント法(四次元変分法, 4D-VAR)⁵⁾が、後者ではカルマンフィルタ(Kalman Filter, 以下「KF」と略称する)²⁾、アンサンブルカルマンフィルタ(Ensemble Kalman Filter, 以下「EnKF」と略称する)³⁾や粒子フィルタ(Particle

Filter, 以下「PF」と略称する)³⁾が代表的な手法として挙げられる。逐次型データ同化手法の中で EnKF や PF は非線形問題にも適用可能である。しかし、地盤に適用する弾塑性解析については応力履歴を追跡することが必要となるため、リサンプリングによってシミュレーション内の変数の調整を行なう EnKF よりも PF の方が適していると考えられる。実際に、PF が実地盤を対象とした地盤解析における弾塑性構成モデルのパラメータ同定に有効な手段であることが実証されている¹⁾。

(2) 粒子フィルタ(PF)

PF は状態の確率密度関数を多数のサンプル(粒子)で近似するアンサンブル近似を用いたアルゴリズムの一つである。各粒子について一般状態空間モデルによりシミュレートすることで、状態量の条件付確率密度関数を同定する。EnKF に対し、PF は線形・ガウス性などの仮定をおかず、フィルタ分布の形状を粒子で近似することにより、あらゆる非線形・非ガウスの問題にも適用でき、計算機への実装も容易である。PF のアルゴリズムは尤度計算後のリサンプリングの有無により、Sampling Importance Re-sampling (SIR)³⁾と Sequential Importance Sampling (SIS)³⁾に分類することができる。前者では、各粒子の尤度に応じて粒子が複製・棄却され、後者では尤度計算のみを行い、初期に作成した粒子を継続的に使い続ける。SIR ではステップ毎にリサンプリングによって各粒子を動かし複製・棄却を行う、つまりステップ毎に履歴を持たない新しい粒子を用いることになるので、応力履歴を考慮する弾塑性パラメータの同定には適さないといえる。そこで本研究では、SIS に基づいた PF を採用した。

3. 境界追跡法と構造最適化

境界追跡法の主な手法にはレベルセット法(Level-set Method)とフェーズフィールド法(Phase-field Method)がある⁴⁾。前者は2次元空間内の境界を3次元空間の関数で表現し、境界の移動を追跡する手法であり、後者はエネルギー拡散の観点から境界の移動を表現する手法である。フェーズフィールド法はデンドライト形成モデルとして注目を集

め、以降、凝固のみならず固相変態や再結晶など、材料工学分野のほぼ全ての材料組織を再現できるまでに発展している⁵⁾。一方で、例えば二相流問題やバイオメカニクスなど、材料工学以外の分野へも応用されており、その一つに地盤工学分野において浸透侵食の境界追跡への適用も行なわれている。フェーズフィールド法は3次元空間内の関数の最初期化の必要がなく、計算が比較的容易であるため、本研究ではフェーズフィールド法を用いることとする。

また、近年、フェーズフィールド法に基づいた構造最適化の手法が材料工学の分野で注目を集めている。構造最適化とは、特定の目的に対して、最適な構造を創出する手法である。フェーズフィールド法を用いることで、許容空間内の全エネルギーの散逸により材料領域と空洞領域を表現することで、最適な形態を創出するのである。本研究では、この構造最適化の中でも、構造の形状だけでなく形態も最適化の対象とする、トポロジー最適化(Topology Optimization)⁴⁾を用いる。現在、このフェーズフィールド法に基づいたトポロジー最適化の手法を用いることで、複数の劣化部を検出する方法を考案中である。

4. ダムの安全性評価における再現解析の妥当性評価

(1) 概要

上記の研究は未だ報告できる段階にまで達していないため、本論文では、PFの実装を経験する目的から、PFを用いたダムの安全性評価における再現解析の妥当性評価について述べる。

既設ダムの耐震性能照査を行うに先立ち、ダムサイトで地震記録がある場合は「再現解析」が行われる⁶⁾。再現解析の目的は、実際の観測地震動による加速度応答の再現性を得るため物性値(堤体および基礎岩盤の弾性係数、減衰定数)を調節し、耐震性能照査に用いる物性値を評価する必要がある。そこで、再現解析で候補となる複数の物性値やそれに基づく動的応答解析波形を「粒子」と位置づけ、PFの尤度(重み)計算を行うことで、粒子の当てはまりの良さの観点から妥当性の評価を行う。今回は、対象を重力式コンクリートダムとし、減衰定数を一般値から10%に固定し⁶⁾、弾性係数の設計値の α 倍を19ケース($\alpha=0.5\sim 2.5$)与えて、動的応答解析を行った。動的応答解析の結果、地震動の加速度応答の評価項目のみから採用値($\alpha=1.4$)が決定された⁶⁾。しかし、この採用値の尤もらしさの程度や他の候補値との差が明確ではない。これらの問題を解決するために、得られた粒子を上述のPFのフレームワークに載せて尤度や重み付き平均を算出することで、この採用値がどの程度尤もらしいかを評価する。

(2) 計算結果と考察

観測誤差を0.1%とした場合の、 $t=60s$ のときの重み分布を図1に示す。図中の点線は再現解析で得られた値($\alpha=1.4$)を、一点鎖線は重みから得られる同定値をそれぞれ示す。図から、重み(尤度)は特定のケース(粒子)について特に高い値を示すものではないが、 $\alpha=1.7\sim 2.0$ 付近の当てはまりが比較的良い。また、この重みを用いて粒子の重み付き平均をとると、 $\xi=0.1$ で $\alpha=1.41$ と算定される。粒子($\alpha=1.4$)自身の尤度は高いとはいえないものの、設定した粒子範囲($\alpha=0.5\sim 2.5$)では時刻 $t=60s$ 時点の粒子重み付き平均値は再現解析の採用値に近いものと評価される。今後は、粒子数を増やし、粒子範囲を変え、減衰定数も同定パラメータに加えることで、より精査な評価が期待できる。

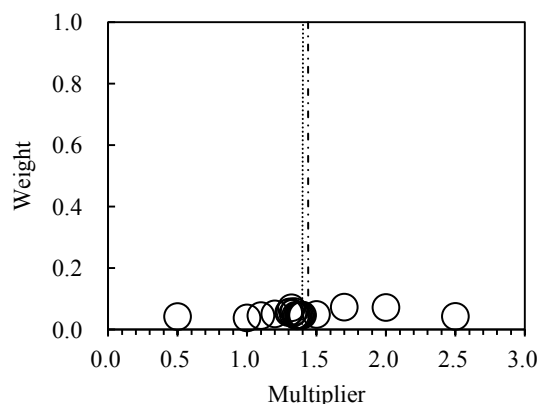


図1 $t=60s$ における重み分布

参考文献

- 1) 村上 章, 西村伸一, 藤澤和謙, 中村和幸, 樋口知之(2009): 粒子フィルタによる地盤のデータ同化, 応用力学論文集, 12, 99-105.
- 2) 樋口知之 (2011): データ同化入門-次世代のシミュレーション技術, 朝倉書店.
- 3) 弓本桂也 (2009): 気象・物質輸送モデルにおけるデータ同化, ながれ: 日本流体力学会誌, 28, 37-44.
- 4) Akihiro T, Shinji N, Mitsuru K (2010): Shape and topology optimization based on the phase field method and sensitivity analysis, Journal of Computational Physics, 229, 2697-2718
- 5) 小山敏幸, 高木知弘(2013): フェーズフィールド法入門, 丸善出版.
- 6) 平成 24 年度東北農政局管内国営造成農業用ダム安全性評価委員会 豊沢ダム検討要旨(2012)
- 7) Foster M, Fell R, Spannagle M (2000): The statistics of embankment dam failures and accidents, Can Geotech Journal, 37, 1000-1024.

日野川流域内の森林および住宅地からの流出負荷特性

The Characteristics of Environmental Load of Outflow from Forest and Residential Area in Hino River Basin

Key Words: Forest, Nitrogen, Load, Contribution

水環境工学分野 山田 駿介

1. はじめに

森林は、我々に恵みをもたらす様々な機能を有している。その中でも特に重要なものが、水源涵養機能と水質浄化機能である。これらの機能によって、森林からの水の流出には時間がかかり、環境負荷が極めて少ないと考えられてきた。しかし、富栄養化の原因物質である硝酸態窒素などは、他の流出源に比べて高い濃度が観測されている。

また、世界的な人口の増加とともに家庭排水量が增大している中で、生活排水の処理水の流域への影響も無視できなくなっている。

そこで本研究では、森林と合併浄化槽を有する住宅地からの流出水の流量と濃度から負荷量を算出し、さらに流域の下流における流量、物質負荷量を求めることによって、流域全体から見た森林、住宅地からの流出負荷量の寄与割合を知り、森林の保全・管理、住宅地からの排水管理にとって有用な知見を提供することを目的とした。

2. 材料と方法

2.1 調査地概要

滋賀県琵琶湖湖東に位置する日野川下流にある桐原橋より上流側の流域を調査対象地域とした。流域内の合併浄化槽供用人口は 3,263 人である。対象流域の土地利用状況を表 1 に示す。日野川下流にある桐原橋地点（以下、日野川下流）、流域内の大篠原森林流域（流域面積 20ha、以下、森林）、長峰団地（流域面積約 45ha、人口は約 3000 人、以下、住宅地）に調査地点を設定した。住宅地においては、無

表 1 対象地域の土地利用状況

土地利用種別	2009年_桐原橋地点集水域
田	56.06
その他の農用地	3.27
森林	109.72
荒地	1.19
建物用地	22.48
幹線交通用地	0.46
その他の用地	4.52
河川地及び湖沼	6.39
ゴルフ場	5.09
total	209.18

(km²)

降雨時における排水の起源は各戸の合併浄化槽からの排水であり、降雨時には道路からの路面排水、屋根からの排水などが加わる。これらの排水は最終的に日野川へ流入する。

2.2 調査項目

調査項目は流量、濃度、負荷量の 3 項目である。今回使用するデータは 2012 年 9 月 1 日～2013 年 8 月 31 日とする。森林流域の末端に量水堰を設置し、流量を算出した。住宅地は水位計を設置して、流量を算出した。

濃度については、各調査地において基本的に 2 週間に 1 回の頻度で行う定期採水に加えて、適宜自動採水を行った。分析項目は水温、pH、EC、DO、ORP、T-N、DT-N、O-N、NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N、PON、DON、T-P、PO₄-P、O-P、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、TOC、SS である。

負荷量は、各地点の各水質項目について、採水を行った時点での流量 Q と濃度 C から負荷量 L を求め、それぞれの LQ 式 ($L=aQ^b$: a, b は定数) を推定し、5 分間隔で求められる Q を LQ 式に代入して L を算出する。住宅地の負荷量については、降雨時の LQ 式により求めた負荷量から、降雨期間の前後の晴天時の負荷量を差し引くことによって、降雨時に生じる路面・屋根からの負荷量を求めた。

3. 結果と考察

3.1 水文特性

対象とした各調査地点での年間の流出率（降水量に対する流出量の比）は、森林で 31%、住宅地（合併浄化槽含む）で 83%、日野川流域で 30%であった。

3.2 水質特性

日野川上流と下流の水質濃度のイオンバランスを比較すると、変化が見られ、Na と Cl の濃度が相対的に増加していることがわかった。これらの住宅地、水田、集落排水処理施設からの流出水濃度は森林や日野川下流より高いことから、河川水水質への農業系・生活系の影響が確認された。

森林からの流出水の NO₃-N 濃度は、晴天時に平均 0.7mg/L、雨天時に 0.9mg/L と日野川下流での晴天時、雨天時の平均値 0.4、0.6mg/L よりも高く、降雨時の初期に濃度上昇が見られた。水田での値は森林よりも低く、硝酸については、森林の影響が大きいと考えられる。

3.3 負荷特性

図1は森林(図上), 住宅地(路面・屋根)(図下)におけるT-Nについての降水量と負荷量の関係を表すグラフである。これは、使用データ期間中で、1日あたりの降水量が5mmを上回った日の降水量と負荷原単位をプロットしたものである。図中にはそれらの近似曲線(累乗近似)と決定係数を示した。流量と負荷量ほどではないが、降水量と負荷量にも相関が確認できた。決定係数の値を比較してみると、住宅地(路面・屋根)の方がより強い相関があると判断できる。他の物質についても同じような結果が得られた。これらの結果から、降水量から直接負荷量を推定できることが示唆された。

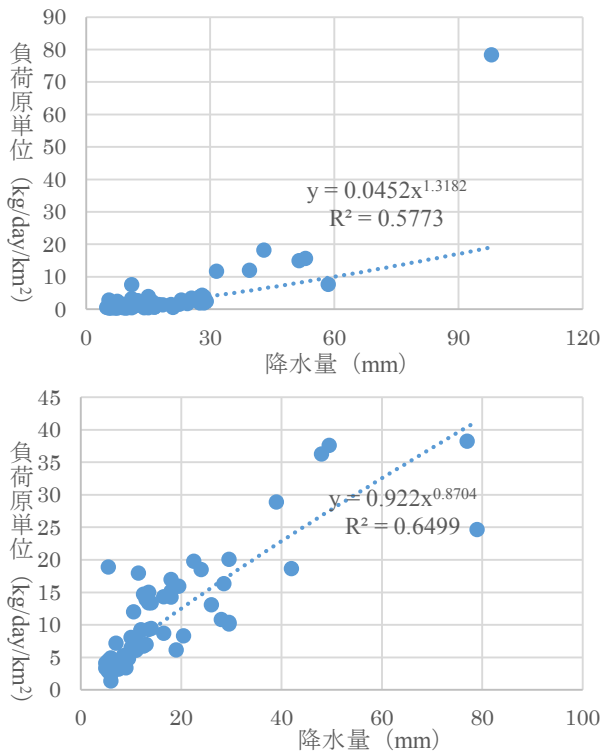


図1 森林, 住宅地(路面・屋根)におけるT-Nの降水量と負荷量の関係

また、森林、合併浄化槽、路面・屋根からの流出に伴う各物質の負荷量の経時変化を求め、月別、季節別、年間について原単位として整理した。

これを用いて、日野川流域における流出負荷量に対する森林、合併浄化槽、路面・屋根の寄与割合を計算した。その結果を表2に示す。また、森林、住宅地からの流量の日野川下流における流量に対する割合も付記した。これらの負荷原単位は、森林については調査対象の森林から求めた負荷原単位に、表1に示した森林面積を乗じた。住宅地(合併浄化槽)については、調査対象の住宅地の合併浄化槽の負荷原単位に、日野川流域全体の合併浄化槽の供用人口を乗じた。住宅地(路面・屋根)については、調査対象の住宅地(路面・屋根)から求めた負荷原単位に、表1に示す建物用地面積を乗じた。

表2において、森林は多くの物質について比較的

表2 各土地利用の寄与割合(%)

	森林 /日野川下流	合併浄化槽 /日野川下流	路面・屋根 /日野川下流
Na ⁺	33.6	0.6	3.5
K ⁺	21.1	0.5	7.5
Ca ²⁺	14.2	0.2	8.3
Mg ²⁺	14.6	0.3	10.5
Cl ⁻	19.9	0.5	2.4
SO ₄ ²⁻	27.6	0.6	6.3
T-N	42.5	1.1	13.7
DT-N	67.4	1.8	20.1
O-N	14.7	0.2	13.1
NO ₃ -N	90.4	2.4	21.3
NO ₂ -N	※	2.7	36.3
NH ₄ -N	40.8	0.9	12.1
PON	7.6	0.1	4.6
DON	30.9	0.7	34.6
T-P	1.4	0.6	12.1
PO ₄ -P	2.7	1.2	44.1
O-P	1.9	0.2	4.1
TOC	51.5	0.5	15.1
SS	2.7	0.0	0.3
流量	55.6	28.5	

※はデータ不足により計測不可

高い寄与割合を示した。特に、DT-N、NO₃-Nについては寄与割合が流量割合の56%を超えており、日野川下流への負荷量に占める森林の割合が非常に高いことを表している。ただし、NO₃-Nの各調査地の寄与割合の合計が100%を超えるということは、森林や住宅地から流出した物質が必ずしも全て日野川下流に達するわけではなく、例えばNO₃-Nの場合は脱窒によって窒素として大気に放出されるなど、河川流出以外の経路があると考えられる。他の土地利用の流出負荷がわかれば、流下過程での物質の増減を推定できる可能性がある。

路面・屋根においては、NO₂-N、DON、PO₄-Pが特に高い寄与割合を示した。合併浄化槽との負荷量分離が不十分であった可能性もあり、今後の検討課題としたい。

4. まとめ

本研究では、森林と合併浄化槽、路面・屋根からの流出負荷量をLQ式に基づいて定量化した。森林と住宅地での降水量と流出量の関係はタンクモデルによってモデル化しているため、森林と路面・屋根については降水量から負荷量を推定できるようになった。

今後の課題としては、水田、転作田、集落排水処理施設についても同様の整理を行い、流域レベルでの水質形成モデルを構築したいと考えている。

逆問題理論を用いた灌漑水量と累積トマト収量の入出力関係の解析

Analysis of input-output relationship between the amount of irrigated water and the accumulated yield of tomato using the theory of inverse problems

Key words: Inverse problems, Tikhonov regularization, Rainwater harvesting
水資源利用工学分野 石原 弘輝

1. はじめに

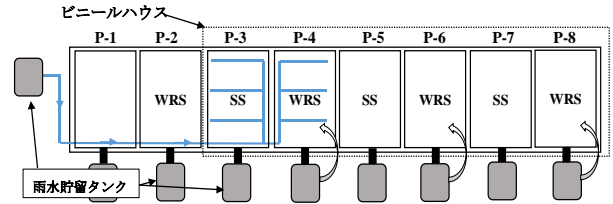
世界の陸地の約38%は乾燥・半乾燥気候の気候区分に属しており、その気候特性である不規則な降雨と長期にわたる乾季が農業生産に与える影響は非常に大きい。とりわけ、半乾燥地においては、雨季に生じる不規則かつ集中的な降水イベントによって土壌水分状態が大きく左右される。そのため、天水農業によって得られる作物収量は年毎に不安定である。また、常態的な水資源不足はこの地域における農業生産量を制限する重大な要因となっている。すなわち、半乾燥地農業においては降水を貯留し、補給灌漑に利用して生産性を向上させることが重要となる。雨水ハーベストシステムは、半乾燥地における小規模農業の農業生産の増収に効果的であると実験的に示されており、貯留水による灌漑農業が農業生産量の向上に顕著な効果を有する。そのため、雨水ハーベストシステムによる降水の貯留は、渇水期間に利用できる水資源を確保する手段として有効であると考えられる。しかし、過度の灌漑によって貯留水が失われ、持続的なシステムの運用に弊害を及ぼす懸念も予想される。したがって、水資源の枯渇といったリスクを回避するため、適切な灌漑計画を科学的に構築する必要がある。

本研究では、実験的な小規模雨水ハーベストシステムにおいて観測されたデータをもとに、灌漑水量を入力、累積トマトの収量を出力としたときの入出力関係を逆問題的解析手法によって推定し、適切な灌漑計画の策定を試みる。

2. 実験的雨水ハーベストシステム

実験的小規模雨水ハーベストシステムは京都府相楽郡に位置する、パナソニック(株)先端技術研究所内で運用が行われた。このシステムは、図1に示すように、それぞれの面積が7.36m²の計8つのプロット(P-1, P-2, ..., P-8)を持つ。P-2, P-4, P-6, P-8には遮水層に撥水砂を用い、それ以外のプロットは普通砂を用いている。その断面を図2に示す。P-3からP-8はビニールハウスで覆われ、雨量は完全にコントロールされている。P-1とP-2は集水地としての機能を持ち、収集された雨水はただちに貯留タンクへ揚水される。タンクの貯留水は、受益地であるP-3とP-4にドリップ灌漑される。P-5からP-8ではそれぞれ半乾燥地の特定の地域の雨量を再現するように灌

漑が行われ、回収水は適宜再利用される。なお、P-2からP-8での栽培作物として、トマトを用いた。



WRS: Water-repellent sand(撥水砂)
SS: Standard sand(普通砂)

図1 小規模雨水ハーベストシステムの平面図

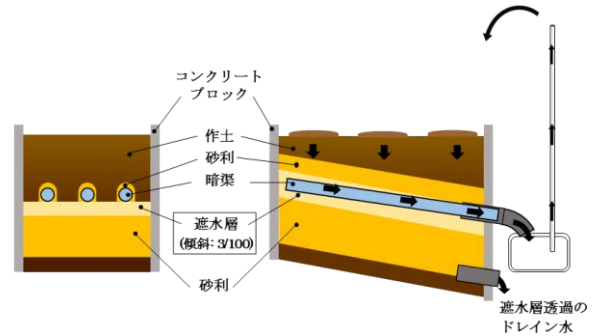


図2 プロットP-2, P-4, P-6, P-8の縦断面図

3. 計算手法

2つの時系列データ x と y の入出力関係は、畳み込みにより次の第1種フレドホルム積分方程式によって与えられるものと仮定する。

$$y(t) = \int_0^t K(t-\tau)x(\tau)d\tau \quad (1)$$

ここでは x が灌漑水量、 y が累積トマト収量を表し、 K は核関数(kernel)である。一定時間間隔の有限長データについて

$$y_i = \sum_{k=0}^{i-1} K_{i-k} x_k \quad (2)$$

すなわち

$$\begin{pmatrix} y_0 \\ \vdots \\ y_i \\ \vdots \\ y_{n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ x_1 & x_0 & \ddots & 0 & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ x_{n-2} & x_{i-j} & \ddots & x_0 & 0 \\ x_{n-1} & x_{n-2} & \cdots & x_1 & x_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} K_0 \\ \vdots \\ K_i \\ \vdots \\ K_{n-1} \end{pmatrix} \quad (3)$$

と離散化する。ここに、添え字は時間ステップを表す。式(3)を $\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{K}$ と略記する。 \mathbf{X} と \mathbf{y} から \mathbf{K} を

求めることは、「非適切」な逆問題であるので、非適切な逆問題の近似解を得る手段として最もよく使われる正則化法である Tikhonov の正則化法を用いる。

汎関数

$$J_\alpha(\mathbf{K}) = \|\mathbf{X}\mathbf{K} - \mathbf{y}\|_2^2 + \alpha \|\mathbf{K}\|_2^2 \quad (4)$$

を最小化する $\mathbf{K} = \mathbf{K}^\alpha$ を求める問題を Tikhonov の正則化法と呼ぶ。ここで、 $\alpha > 0$ は定数であり、正則化パラメータと呼ばれる。これにより、 \mathbf{K}^α は

$$\mathbf{K}^\alpha = (\mathbf{X}^T \mathbf{X} + \alpha \mathbf{I})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y} \quad (5)$$

と表され²⁾、この \mathbf{K}^α を用いると、累積トマト収量時系列は

$$z_i = \sum_{k=0}^{i-1} K_{i-k}^\alpha x_k \quad (6)$$

で与えられる z_i として補正される。ここに、 K_i^α は \mathbf{K}^α の第 i 成分である。

4. 計算結果

式(5)において $M = \mathbf{X}^T \mathbf{X} + \alpha \mathbf{I}$ 、 $\mathbf{v} = \mathbf{X}^T \mathbf{y}$ とし、Gauss-Seidel 法で $M\mathbf{K}^\alpha = \mathbf{v}$ を解けば、 \mathbf{K}^α が得られる。さらにこの \mathbf{K}^α を用いて z_i を求めた。P-2 から P-8 までのそれぞれで、トマトの収穫が終わるまでの 85 日間に得られたデータをもとに計算を行った。各プロットでの灌漑水量と累積トマト収量の入出力関係を図 3 に示す。また、正則化パラメータ α の影響を調べるため、 α の値を変化させて計算を行った。ここでは一例として P-3 で得られた結果を図 4、図 5 に示す。

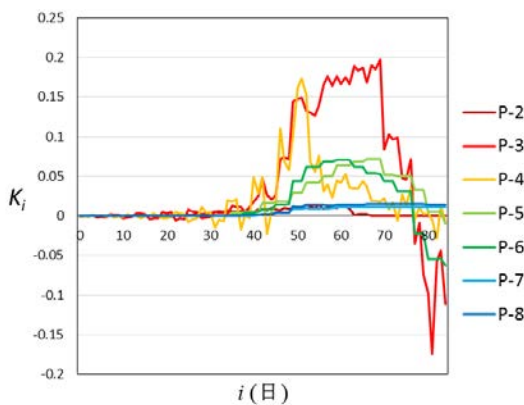


図 3 各プロットでの灌漑水量と累積トマト収量の入出力関係 ($\alpha=1$)

図 3 によると、全てのプロットでトマトの収穫が始まった 40 日目前後から K_i^α の値が上昇していることから、灌漑水量に対する収量の応答が上手く表されているといえる。各プロットのグラフを比較すると、P-3 での応答が他のプロットより高い水準を示したことから、最も効率の良い灌漑計画であったといえる。

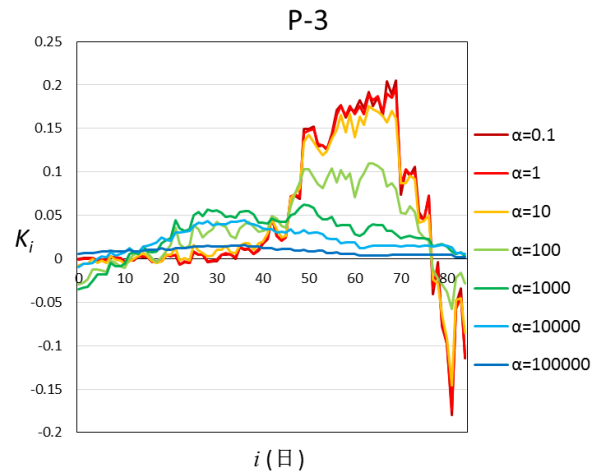


図 4 P-3 での灌漑水量と累積トマト収量の入出力関係

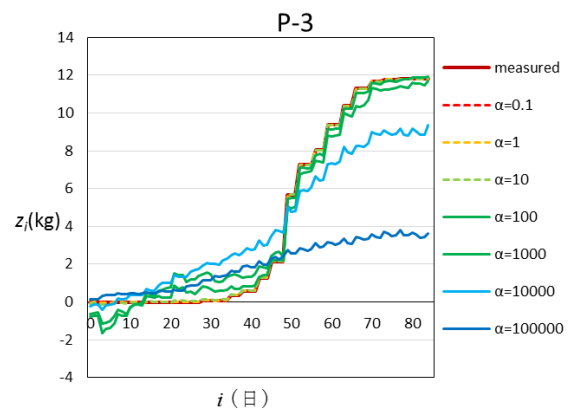


図 5 補正後の収量

図 4 では、 α が 100 以上になると次第にグラフが滑らかになり、フラットになっていく。それに加え、図 5 に見られるように補正値が測定値とかけ離れた値を示した。これは式(4)に関して、 α が大きすぎると、右辺第 2 項が第 1 項に比べて大きくなりすぎるからだと考えられる。この結果から、正則化パラメータ α は 0.1 から 10 の間の値であれば適切といえる。

5. おわりに

小規模雨水ハーベストシステムで観測されたデータをもとに、入力を降雨量または灌漑水量、出力をトマトの累積収量として、その入出力関係を推定した。この結果から、この方法を用いて効率的な灌漑計画を策定することができる。

引用文献

- 1) Pachpute J.S., Tumbo S.D., Sally H., Mul M.L. (2009): Sustainability of Rainwater Harvesting Systems in Rural Catchment of Sub-Saharan Africa, *Water Resource Management*, **23**, 2815-2839.
- 2) Andreas Kirsch (2011): *An Introduction to the Mathematical Theory of Inverse Problems*. Springer, pp.36-43.

二成分粒子を充填した混合多孔質媒体の水理特性とぬれ性の評価

Hydraulic Properties and Wettability Indices of Porous Media with Mixed Sizes and Wettabilities

Key words: Water-repellent particles, Combination of diameter, Mixture rate

水資源利用工学分野 神崎 慧大

1. はじめに

これまで、単一粒径のガラスビーズ(GB)に炭化水素化合物($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{SiCl}_3$)を用いて撥水処理したものと、処理をしていないものを様々な割合で混合した多孔質媒体に対して、水滴浸入時間、水浸入圧などのぬれ性指標と、飽和透水係数、水分保持特性の2つの水理特性の測定が行われてきた¹⁾。本研究では、粒径の異なる2種類のGBを用い、疎水化したGBの混合割合を変化させ、上記のぬれ性と水理特性の測定し、間隙の大きさの推定を行う。

2. 試料

豊浦標準砂の粒径が $212\sim 250\mu\text{m}^2$ であることを考慮し粒径0.1mm, 0.2mm, 0.4mmのGBを試料として用いる。これらの粒径のGBを(0.1,0.2), (0.2,0.4)のように、2種類組み合わせる。なお、単一粒径のものは(0.2)のように示す。田中(1982)³⁾の二成分粒子系多孔質媒体の最密充填を実現する混合割合を参考にして、ここでは小さいほうの粒子と大きいほうの粒子の混合比を質量ベースで1:3とする。各組み合わせに対して、①いずれのGBも疎水化しないもの(親, 親), ②小さいほうのGBを疎水化したもの(疎, 親), ③大きいほうのGBを疎水化したもの(親, 疎), ④両方のGBを疎水化したもの(疎, 疎)の4種類の試料を作成する。したがって疎水化した粒子の混合割合は質量ベースで、① 0%, ② 25%, ③ 75%, ④ 100%となる。

3. 測定項目および結果

3.1 水滴浸入時間

水滴浸入時間とは試料表面に滴下した水が浸入するまでに要した時間であり、撥水性の程度および安定性を示す指標と考えられている。また程度の分類にはBisdornら⁴⁾によるものを採用する。測定した結果、全ての組み合わせで混合率25%以上の試料は浸入するのに3,600秒以上かかりextremely water repellentに、0%はwettableに分類された。

3.2 水浸入圧

撥水性多孔質媒体では通常の土壌のように自発的な浸入は起こらず、十分な圧力をかけると浸入が発生する。この水の浸入が発生する閾値を水浸入圧といい、この概念は通常多孔質媒体にも拡張できる。すなわち通常の場合、水浸入圧は負圧となり、撥水性の場合は正圧となる。負圧のものは後述する水分保持特性の浸潤過程において空気侵入圧となる値から推定する。それぞれの組み合わせにおいて混合率が高くなるほど撥水性が強くなり水浸入圧の値は大きくなった。結果を下の表1に示す。

表1: 水浸入圧 (cm)

混合率 (%)	0	25	50	75	100
(0.1, 0.2)	-38	6.4	-	15.3	18.33
(0.2, 0.4)	-12	7.6	-	9.2	10.8
(0.1)	-44.5	9.2	16.7	18.9	19.5
(0.2)	-29.5	4.3	11.3	11.3	14.7

3.3 飽和透水係数

間隙が水で飽和された多孔質媒体の単位断面積当たりの流量は、水理水頭(=圧力水頭+位置水頭)の勾配に比例するというDarcy則を用いて表される。測定は、脱気水を用いて真空法で試料を飽和した後、大起理化工業製DIK-4012を用いて定水位法で行う。(0.1,0.2), (0.2,0.4)についての結果を単一粒径の結果と共に図1に示す。飽和透水係数は混合率に依存せず、粒径の小さい粒子に影響を受けることがわかる。

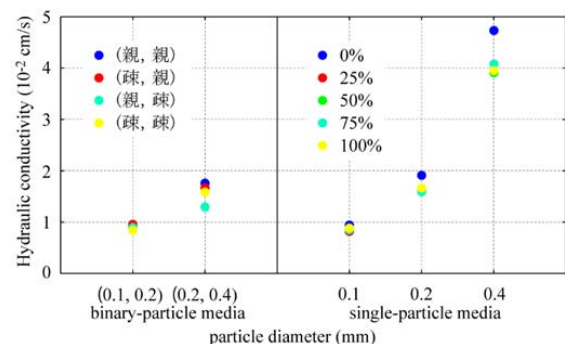


図1: 透水係数と粒径組み合わせの関係

3.4 水分保持特性

乾燥状態の試料への浸潤過程と飽和状態からの排水過程に関する水分保持特性を土柱法で測定する。試料を最大 80cm 積み重ね、浸潤過程では最大 40cm まで水中に入れる。(0.2,0.4), (0.1, 0.2), (0.2)の結果を図 2, 3, 4 に示す。浸潤・排水過程ともに異なる粒径を混合したものは、二段階にグラフが変化することがわかる。これは小さい粒子に由来する小さい間隙と大きい粒子に由来する大きい間隙が存在することを示している。

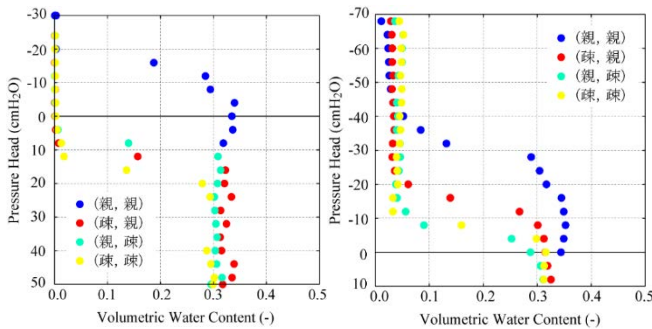


図 2 : (0.2, 0.4) の水分保持特性 (左:浸潤, 右:排水)

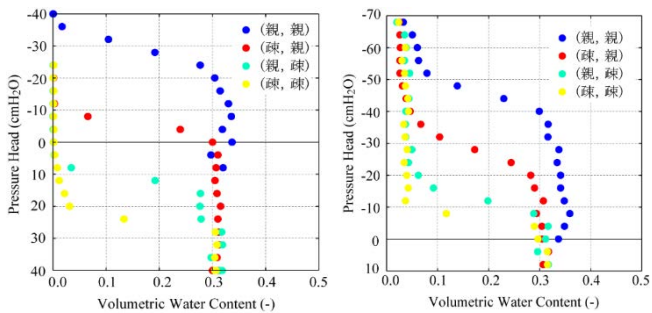


図 3 : (0.1, 0.2) の水分保持特性 (左:浸潤, 右:排水)

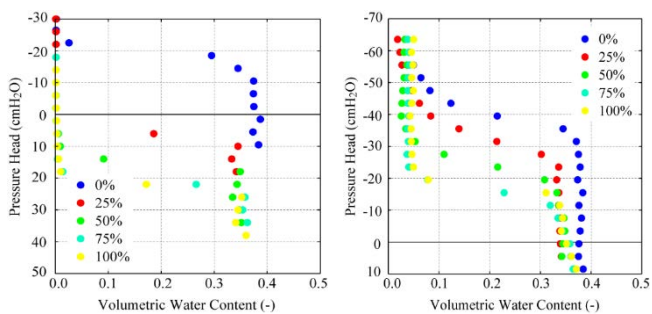


図 4 : (0.2) の水分保持特性 (左:浸潤, 右:排水)

4. 毛管半径の推定

多孔質媒体内の間隙を円管と仮定すると、毛管半径は、Young の式を用いて空気侵入圧や水浸入圧から算出することができる。ここでは、測定した水分

保持特性との二乗誤差が最小となるように bimodal van Genuchten model⁵⁾のパラメータを同定し、飽和度が 95%(親水性)、または 5%(疎水性)となる圧力をそれぞれ空気侵入圧、水浸入圧とみなし毛管半径を推定する。同定されたパラメータによる水分保持特性曲線の例を図 5 に示す。また、得られた毛管半径の値を表 2 に示す。これより混合率 100%の方が毛管半径が小さくなることわかる。これは、疎水性粒子間の隙間に空気が残留することを示している。

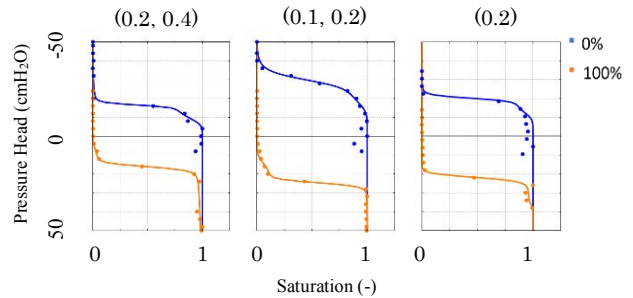


図 5 : bimodal van Genuchten model によるフィッティング

表 2 : 毛管半径の値 (mm)

混合率 (%)	0	100
(0.1,0.2)	0.035	0.015
(0.2,0.4)	0.076	0.018
(0.2)	0.049	0.011
(0.4)	0.059	0.023

5. 結論

ガラスビーズに撥水処理を行なったものを用い、異なる粒径の組み合わせの多孔質媒体を作成し、ぬれ性と水理特性を測定した。水滴浸入時間、水浸入圧においては混合率が高くなるほど撥水性が強くなることや、飽和透水係数は、混合率に依存しないことが示された。水分保持特性の結果からは、用いた試料の中に大きな間隙と小さな間隙の 2 種類が存在することが推定され、毛管半径は疎水性試料の方が小さくなること示された。

参考文献

- 1) 高橋拓弥, 竹内潤一郎 (2012): 撥水性粒子を含む混合多孔質媒体のぬれ性と水理特性の評価, 平成 24 年度農業農村工学会, 応用水理研究部会講演集, 86-89.
- 2) 細野康代, 吉嶺充俊 (2009): 豊浦砂の粒度分布, 土木学会第 64 回年次学術講演会, 335-336.
- 3) 田中善之助 (1982): 2 成分系粒子群における充てん率の変化について, 粉体工学会誌, 457-462.
- 4) Bisdorf, E.B.A., L.W.Dekker, L.W.Schoute, and J.F.Th. Schoute (1993): Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma*, 56, 105-118.
- 5) Durner, W. (1994): Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. *Water Resour Res*, 30, 211-223.

農作業情報管理のための入力システムの開発*

Development of input system for information management of farmwork*

Key words: Input System, Smart Device, Decision Support System

農業システム工学分野 森川 紗綾

1. 背景

近年、日本の農業就業人口は減少を続けており、農林水産省の発表によると、2012年における農業就業人口は、総人口の3%程度となった。また平均年齢に上昇傾向がみられ、農業就業者の高齢化が進んでいる(表1)。

表1 農業就業人口及び基幹的農業従事者数¹⁾単位:万人,歳

	20年	21年	22年	23年	24年	25年
						概数
農業就業人口	298.6	289.5	260.6	260.1	251.4	239.0
うち女性	159.7	154.6	130.0	134.5	128.4	121.1
うち65歳以上	180.3	177.8	160.5	157.7	151.6	147.8
平均年齢	64.7	65.3	65.8	65.9	65.8	-
基幹的農業従事者	197.0	191.4	205.1	186.2	177.8	174.2
うち女性	86.7	83.6	90.3	79.8	74.7	72.9
うち65歳以上	117.2	115.7	125.3	110.0	106.0	106.7
平均年齢	65.2	65.7	66.1	65.9	66.2	-

今後、更に農業就業者の高齢化が進み、後継者不足が深刻になれば、農業技術や知識を次世代に継承することが困難になり、蓄積されてきた知識を損失させてしまう可能性がある。

これらの問題の対策として、圃場の環境情報(気温・湿度・降水量・日射量など)や生育状況、生産履歴情報などを蓄積し、それらのデータを基にして農作業の最適化や資材投入量の最適化を行う、意思決定サポートシステム(Decision Support System)の開発が行われている。このシステムは、新規農業就業者に向けてのマニュアルとしてや、特別栽培米などのように作物に付加価値をつけたい場合にも有用となる。

そこで本研究では、生産履歴情報の蓄積のために、圃場ごとの農作業内容を簡易に記録していくシステムを開発し、農業従事者が作業記録をする際の手間を軽減することを目的とした。

2. 研究方法

本研究において、作業内容の入力端末として、近年急速に普及が進んでいるスマートデバイス(スマートフォン・タブレット)を採用し^{2),3)}、スマート

*農業食料工学会関西支部報第116号に一部掲載

デバイス向けのアプリケーションとしてシステムの開発を行った。システムの開発は、iOSで機能するアプリケーション開発のための統合開発環境であるXcodeを用いて行い、開発言語としてはObjective-Cを使用した(図1)。

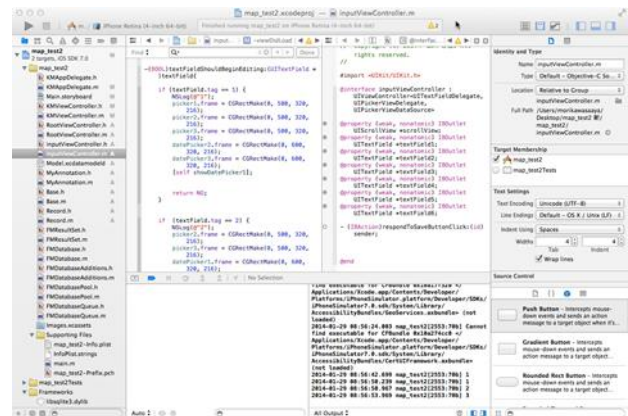


図1 Xcode開発環境

3. アプリケーション概要

アプリケーションを立ち上げると最初に圃場の選択が行われる。このとき、選択の仕方として、現在地から圃場を選択する方法と、予め登録しておいた地点の地図から選択する方法の2通りを用意した。圃場の選択を終えると、圃場ごとのメイン画面に遷移する。そしてメイン画面から更に、作業内容入力画面や履歴画面に遷移していく構造となっている。

それぞれの画面についての詳細は次節にて詳しく述べる。

4. アプリケーション詳細

4.1 現在地画面

アプリケーションを起動するとまず、GPSから取得された現在地が画面に表示される。地図はAppleによって提供されているものを使用して表示している。登録された圃場が現在地周辺にあれば、自動的にピンが落ちてくる。ピンをタップすると、圃場名と履歴画面へのリンクボタンが表示される。画面右下のSpotボタンをタップすると、登録地画面へと遷移する(図2)



図2 現在地画面



図3 作業内容入力画面

4.2 登録地画面

登録地画面では、事前に登録しておいた地点周辺の地図が表示される。この画面は、ネットワークへの接続が必要ないため、場所を選ばず使用することができる。また現在地画面と同様に、圃場の位置情報を登録しておけば、その地点にピンが自動的に落ちてきて、ピンをタップすると、圃場名と履歴画面へのリンクボタンが表示される。リンクボタンをタップすると圃場メイン画面に遷移する。

4.3 作業内容入力画面

作業内容として、作業日・作業内容・作業時間・(作業開始時間・作業終了時間)・農薬名・肥料名の入力を行う。作業日・作業時間に関しては、作業内容入力画面に遷移したら、自動で入力されているものとした。変更時には、スクロールにより日付・時間の修正を行うことができる。また作業内容・農薬・肥料の入力に関しては、あらかじめ作成しておく選択肢の中から項目を選ぶものとし、キーボードで各自が打ち込む必要をなくした(図3)。

4.4 履歴画面

作業内容入力画面で入力された情報を、圃場ごとに画面に表示する。この画面から、履歴の閲覧だけでなく、作業内容の修正や削除が行われる。

5. 結言

本研究で作成したシステムでは、圃場選択法を2通り用意したことで、入力を行う状況に合わせて、より適切な方法で視覚的に圃場を選択することが可能となった。また作業内容の入力について、日付や時間だけでなく作業内容や農薬の種類についても、項目から選択していくようにしたことで、キーボードで一つ一つ入力する場合に比べて、時間の短縮が見込まれる。

今後、本研究で開発を行ったシステムで集めたデータをもとに、気象データと作業履歴の関連性から、病害虫防除に使用する最適な農薬の予測などを行う意思決定サポートシステムが開発され、その予測結果を自由に閲覧できるようになれば、より便利なシステムとなるであろう。

参考文献

- 1) 農林水産省：農業労働力に関する統計，
<http://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/08.html>
- 2) 株式会社 MM 総研：スマートフォン契約数およびユーザーの端末購入動向，
<http://www.m2ri.jp/newsreleases/main.php?id=010120140122500>
- 3) 株式会社 MM 総研：スマートフォン市場規模の推移・予測，
<http://www.m2ri.jp/newsreleases/main.php?id=01012013028500>

Steady and unsteady flow analyses of a vegetated agricultural drainage canal based on the 1-D Extended Shallow Water Modeling

(拡張一次元浅水流モデルを用いた植生を有する農業用排水路の定常・非定常解析)

Key words: Agricultural drainage canal, Extended shallow water equations, Vegetation
Water Resource Engineering, Ayaka Wakazono

1. INTRODUCTION

The analysis of surface water flows is important for assessing hydraulic and hydrologic phenomena that occur in an agricultural drainage system. Water flows in an agricultural drainage canal are described using the 1-D shallow water equations (1-D SWEs), in which the incompressibility of water and the hydrostatic pressure distribution are assumed (Cunge *et al.*, 1980). One of the outstanding features of water flows in agricultural drainage canals is the existence of vegetation. Aquatic plants physically and chemically influence the water flows (Chen *et al.*, 2012). Although previous studies have shown that the 1-D SWEs can reasonably simulate real water flows (Wakazono *et al.*, 2014), the 1-D SWEs do not consider the occupied volume of vegetation and double-count the momentum losses from the bottom friction and vegetation drag forces. This study presents the 1-D extended SWEs (1-D ESWEs) to address the shortcomings of the previous 1-D SWEs. The 1-D ESWEs are numerically solved using the dual-finite volume method (DFVM) (Yoshioka and Unami, 2012).

2. EXTENDED SHALLOW WATER EQUATIONS

The 1-D ESWEs consist of the continuity equation

$$\phi_w \frac{\partial A}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(\phi_A Q)}{\partial x} - q = 0 \quad (1)$$

and the momentum equation

$$\frac{\partial(\phi_A Q)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\phi_A \frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \left(\phi_A \frac{\partial \eta}{\partial x} + \phi_A S_f + S_v \right) = 0, \quad (2)$$

where A is the cross-sectional area of flow, η is the water surface elevation, Q is the discharge, q is the lateral inflow, β ($=1.1$) is the momentum coefficient, S_f is the friction slope, and S_v is the momentum losses due to the vegetation. S_f and S_v are given by

$$S_f = \frac{n^2 Q |Q|}{A^2 R^{4/3}} \quad (3)$$

and

$$S_v = \frac{\min\{h, h_e\} C_d a Q |Q|}{h 2gA^2} \quad (4)$$

respectively, where n is the Manning's coefficient, R is the hydraulic radius, h_e is the effective vegetation

height (Arita *et al.*, 1998), C_d is the drag coefficient, and $a = \lambda d$ is the vegetation density with the number of stems per unit area λ , and the effective diameter of the stem d . The 1-D ESWEs have three additional variables: ϕ_w , ϕ_p , and ϕ_A . ϕ_p is the fraction of water on channel bed at the cross-section, ϕ_w is the fraction of water on the plane $z = \eta$ at the cross-section, and ϕ_A is the fraction of water in the cross-section. If $\phi_w = \phi_p = \phi_A = 1$, there is no vegetation in the channel, and the 1-D ESWEs are equivalent to the 1-D SWEs.

3. STUDY AREA

The 1-D ESWEs were used to simulate water flows in the vegetated agricultural drainage canal in the Katsura district of Imazu-cho, Takashima City, Shiga Prefecture, Japan (Fig. 1).

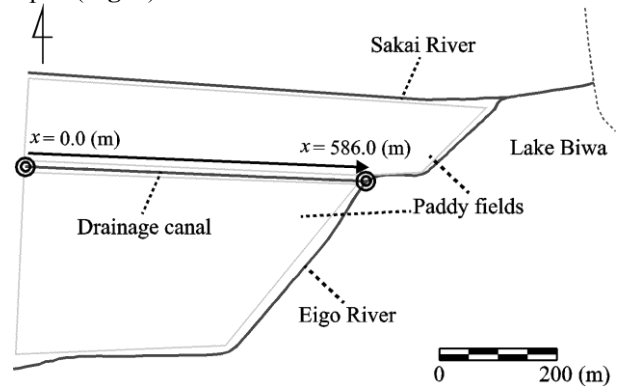


Fig. 1 Map of the study area

4. NUMERICAL SIMULATION

Steady and unsteady numerical simulations of water flows in the agricultural drainage canal were performed using the 1-D ESWEs.

4.1 Computational Condition

The Manning's coefficient n of the canal was set to 0.020 s/m^{1/3}. In the steady simulations, the inflows from the perpetual spring and the 16 paddy fields located upstream were set as the inflow discharge at the upstream-end and the weir formula was specified at the downstream-end. The momentum flux was also specified at the upstream-end. In the steady simulations, the estimated lateral inflow discharges were specified as nodal q , while in the unsteady simulations, they were calculated from the ordinary differential equations model

of the water balance (Kinjo *et al.*, 2013).

4.2 Steady Flow Simulation

Steady flow simulation was performed to optimize the two unknown parameters $b = C_d a$ and ϕ_p using a trial-and-error approach (Wakazono *et al.*, 2013). Here $\phi_w = \phi_p = \phi_A$ is assumed because it was observed that only small parts of the vegetated areas in the canal were submerged during the field investigation. Steady simulations were performed for $\phi_p = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8,$ and 0.9 ; and $b = 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15,$ and 20 . A total of 40 simulations were performed. The route mean square error (RMSE) E (Wakazono *et al.*, 2013) was calculated for each computed case, and the optimum values of the unknown parameters were $b = 5$ and $\phi_p = 0.9$. Fig. 2 shows the computed water surface profile in the canal using the optimal parameter values. The computed water surfaces profile agrees well with the observed values.

4.3 Unsteady Flow Simulation

The unsteady flow simulations were performed using measured rainfall data from Typhoon No.18 (2013). The impacts on the followings were analyzed: 1) The effective vegetation height h_e , 2) The parameter b , 3) The fraction ϕ_p , 4) The outflow condition at the downstream-end. Fig. 3 shows the computed water surface profiles using the 1-D SWEs ($h_e = +\infty$) and the 1-D ESWEs ($h_e = 0.25$ m) when the discharge at the downstream-end is at maximum. The figure shows the unrealistic backwater effects of the 1-D SWEs, which are addressed by the 1-D ESWEs.

5. CONCLUSION

The 1-D ESWEs were developed to address the shortcomings of the conventional 1-D SWEs. In the steady flow simulations, the computed water surfaces profiles with the identified model parameters agreed well with the observed ones. Unsteady flow simulations were performed to highlight the differences between the 1-D SWEs and the 1-D ESWEs. The computational results of the unsteady flow simulations revealed that the effective

vegetation height has significant impacts on the water flows in the canal. Unsteady simulations with different parameter values showed the advantage of the 1-D ESWEs over the 1-D SWEs in simulating the flows in canals; specifically, in showing the effects of dense vegetation.

REFERENCES

- [1] Arita, M., Ikeda, Y., Nakai, M., Michinoku, Y., Nakamura, Y. and Murakami, K. (1998) *Hydrosphere Environment*, Tokyo Denki Univ. Pub., pp. 339-352. (in Japanese)
- [2] Chen, Z., Oritz, A., Zong, L. and Nepf, H.M. (2012) The wake structures behind a porous obstruction and its implications for deposition near a finite patch of emergent vegetation, *Water Resources Research*, 48(9) W09517.
- [3] Cunge, J.A., Holly Jr., F.M. and Verwey, A. (1980) *Practical Aspects of Computational River Hydraulics*, Pitman, pp. 7-52.
- [4] Kinjo, N., Yoshioka, H., Unami, K. and Fujihara, M. (2013) Simulation of water flows in an agricultural drainage system with hydraulic structures, *Proc. 35th IAHR WORLD CONGRESS*, Paper No. A10717, 8pp.
- [5] Wakazono, A., Yoshioka, H., Kinjo, N., Unami, K. and Fujihara, M. (2014) Coupled shallow water flow analysis for a vegetated agricultural drainage canal during a heavy rainfall event, *Proc. Annual Meeting on applied Hydraulics 2013*, pp. 89-92.
- [6] Yoshioka, H. and Unami, K. (2012) A dual grid based finite volume scheme for analysis of shallow water flows in locally one-dimensional open channel network flows, *Proc. the 69th JSDIRE, Kyoto Division*, pp. 114-115. (in Japanese)

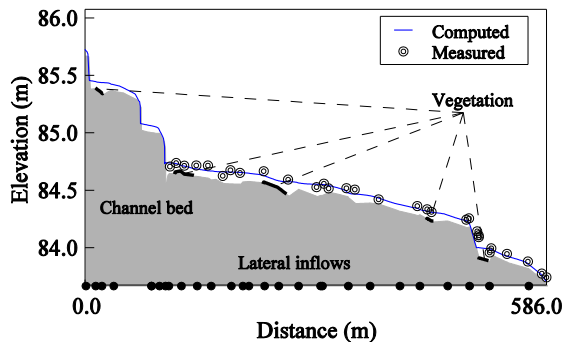


Fig 2 The computed water surface profile in the canal using the optimal parameter values

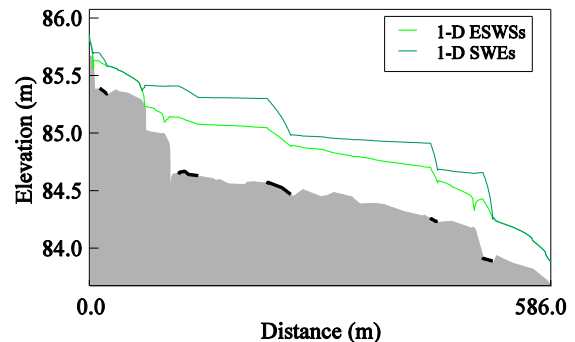


Fig. 3 The computed water surface profiles in the canal using the 1-D ESWEs and the 1-D SWEs