

# Root Research

ISSN 0919-2182  
Vol.26, No.2  
Jun 2017

Japanese Society for Root Research

## 目 次

### 【巻 頭 言】

会員の皆様へ ..... 23

### 【原著論文】

エリアンサスの根系形成と土壤中への炭素供給量の試算  
—改良土壌断面法とイングロースコア法の組合せによる解析—  
金井一成・新村悠典・小島淳・岡部貴誠・森田茂紀 ..... 25

### 【情 報】

「根っこのえほん」学校図書館出版賞受賞 ..... 34  
Peter Barlow 先生の思い出：根冠の形態と機能をめぐって ..... 35

根の研究  
根研究学会(JSRR)



## 会員の皆様へ



### 告 示

#### ○2017年度根研究学会賞の候補募集（2017年7月31日まで）

根研究学会会則第3条ならびに根研究学会学術賞規定に基づき、2017年度の研究会賞の推薦を受け付けます。優れた業績が多数推薦されますよう、皆様のご協力をお願いします。自薦・他薦を問いませんし、推薦者は会員でなくても結構です。送り先は根研究学会事務局、締切は2017年7月31日です。詳細は、本学会HPに掲載の根研究学会賞に関する規定をご確認下さい。

#### ○2018年度-2019年度会長選挙告示（立候補・推薦の締め切りは2017年7月31日）

会則第8条・10条・11条に基づき、来期の会長選挙を行います。会長候補として立候補または推薦を受ける資格があるのは、2017年7月31日時点におけるすべての個人会員です。会長に立候補する会員は、立候補届を事務局までお送りください。立候補の受付期間は2017年7月1日～7月31日（必着）とします。

### 事務局からのお知らせ

#### 1. 中野明正会員が監修した「根っこのえほん」が第19回学校図書館出版賞に決定

会誌25巻2号で紹介した「根っこのえほん」((株)大月書店)が学校図書館向け図書の優良な出版企画として評価され、第19回学校図書館出版賞に決定しました。中野明正会員が監修し、他の根研会員もこの本の作成に協力しています。学会よりお祝い申し上げますとともに、今後一層のご活躍を祈念いたします。

#### 2. 電子版会誌のダウンロードについて

2017年度から根研究学会ホームページおよびJ-Stageから電子版会誌をダウンロードするためのパスワードを変更したのでご注意ください。ユーザー名の変更はありません。

根研究学会電子版会誌のURL <http://www.jsrr.jp/rspnsv/download.html>

J-StageのURL <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/rootres/-char/ja>

#### 3. 2017年の根研究集会

##### ・第47回根研究集会

大阪府堺市の大阪府立大で10月28日に開催し、松村篤会員に企画をお願いしています。次号に開催案内を掲載します。10月28日10:30～17:45（予定）。集会後に懇親会があります。

・2018年度の集会 春および秋の開催地については募集中です。

#### 4. 2017年の根研究集会から学生会員の参加費は無料になります

2017年から学生会員の参加費は無料になります。これまで根研究集会の参加費は一般会員、学生会員、非会員を問わず同額でした。第46回根研究集会から非会員の参加費は、一般・学生に関係なく、一般会員より1,000円程度高くなります。学生会員は集会受付で学生証の提示をお願いいたします。この機会にぜひ根研究学会学生会員にご加入いただけますよう、関係学生の皆さんにご周知いただけますようお願いいたします。

#### 5. 「苜住」国内旅費支援として再開予定

特別会計の予算状況が改善したことから、特別会計から20万円を苜住基金に積み立て、今年度後期（2017年10月～2018年3月）から根に関する研究方法習得のためなどの国内旅費支援として再開する予定です。総会での今年度事業計画承認後に募集します。年4件、1件1.5万円の支援を予定しています。

#### 6. 投稿のお願い

会誌「根の研究」では、原著論文のほかに、ご自身の一連の研究を他分野の会員にも分かりやすく解説したミニレビューを重視しています。学術功労賞・学術奨励賞の要件である、本会における研究成果の報告は、ミニレビューによる解説も認められていますので、積極的にご寄稿下さい。また、研究手法や学生向けの実験・実習法の解説なども歓迎します。

次ページに続く

## 7. 根研ロゴの使用について

これまで「根研」のロゴを入れたTシャツなどのグッズを事務局が製作し、研究集会で販売してその収益を特別会計の収入としていました。しかし、売れ残りが生じると特別会計の赤字になってしまうためグッズを積極的に製作することは困難でした。そこで、会員の皆様が使用料を支払うことで根研ロゴを使用したグッズを自由に製作することができるようにしました。使用料は1製品につき300円です。詳しくは事務局までお問い合わせください。

## 8. 名簿データ更新のお願い（異動のないかたもご協力下さい）

住所・所属・研究テーマ等に変更のある方は本号に掲載の案内、または根研究学会ホームページ (<http://www.jsrr.jp/>) の「諸手続—名簿データ更新」のコーナーをご参照頂き、なるべく4月末日までにデータをお送り下さい。また、各種調査に備えて今後会員の性別と学生・社会人の別を集計することにしました。特に変更のない方も名簿データの更新にご協力ください。これら追加データは、主に会員構成（男女比など）を把握するために使わせて頂きます。

## 9. 会費納入のお願い

2017年度の会費をまだお支払い頂いていない方は、下記の郵便振替口座に納入をお願いします。請求書等の伝票をご希望の方は、事務局までお知らせ下さい。

年会費（2017年）： 電子版個人 3,000円、冊子版（+電子版）個人 4,000円、冊子版団体 9,000円  
（年度は1月—12月です）

郵便振替口座 口座名義（加入者名）：根研究学会、 口座番号：00100-4-655313

[他の銀行から振込の場合：ゆうちょ銀行 ○一九店（ゼロイチキウテン） 「当座」0655313]

-----  
根研究学会所在地・連絡先： 〒104-0033 東京都中央区新川 2-22-4 新共立ビル 2F

(株)共立内 根研究学会事務局 TEL：03-3551-9891/FAX：03-3553-2047

- メールアドレス 事務局：[neken2017@jsrr.jp](mailto:neken2017@jsrr.jp) 『根の研究』編集委員長：[editor2017@jsrr.jp](mailto:editor2017@jsrr.jp)  
Plant Root 編集委員長：[editor2017@plantroot.org](mailto:editor2017@plantroot.org)
  - Web サイト 根研究学会：<http://www.jsrr.jp/> 『根の研究』オンライン版：<http://root.jsrr.jp/>  
Plant Root：<http://www.plantroot.org/>
-

## エリアンサスの根系形成と土壌中への炭素供給量の試算 —改良土壌断面法とイングロースコア法の組合せによる解析—

金井一成<sup>1)</sup>・新村悠典<sup>1)</sup>・小島 淳<sup>2)</sup>・岡部貴誠<sup>2)</sup>・森田茂紀<sup>\*2)</sup>

1) 東京農業大学大学院農学研究科

2) 東京農業大学農学部

**要 旨**：石油枯渇・地球温暖化対策となるセルロース系バイオエタノールの原料作物として、イネ科多年生植物のエリアンサスが注目されている。バイオマス生産性やストレス耐性が高いことが大きな理由であり、その背景に大型の群落を支える大型の根系があると考えられるが、フィールドにおける根系調査は限られており、根系形成について不明な点も少なくない。また、エリアンサスは多年生作物であるため、根系形成に伴う根の枯死脱落や根からの有機物の分泌を通して土壌中へ炭素が供給される。このことが、地球温暖化対策となる可能性が考えられる。しかし、エリアンサスの根の枯死に関する定量的なデータは少ない。そこで、定植1, 2年目の群落の出穂期に土壌断面法で根系調査を行うとともに、イングロースコア法で根の形成と枯死について定量的な解析を行った。その結果、定植1年目から2年目にかけて根量が増えるとともに、根系分布が深くなることが確認できた。定植2年目は1年目より太い節根および太い側根が多く形成され、その節根が下方方向に伸長することによって根域が下方方向に拡大するとともに、そこに形成される側根を含めて根量が増えたと考えると、異なる形態的指標の相互関係に矛盾が生じない。また、ここで得られた根量データを利用して根系形成に伴う土壌中への炭素の供給量を推定したところ、定植1年目の群落では約 140 g/m<sup>2</sup>、2年目は約 270 g/m<sup>2</sup>であった。

**キーワード**：イングロースコア法, エリアンサス, 根系形成, 土壌炭素, 土壌断面法。

**Root system development of field-grown *Erianthus* population and its possible contribution to carbon supply into soil** : Issei KANAI<sup>1)</sup>, Yusuke SHINMURA<sup>1)</sup>, Jun KOJIMA<sup>2)</sup>, Takanori OKABE<sup>2)</sup> and Shigenori MORITA<sup>\*2)</sup> (<sup>1)</sup>Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture, <sup>2)</sup>Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture)

**Abstract** : Bioethanol is a promising alternative to fossil fuels and a potential countermeasure to global warming. We have been paying attentions to *Erianthus*, a perennial C<sub>4</sub> grass, as a raw material for cellulosic bioethanol. *Erianthus* has high biomass production and strong tolerance for environmental stresses. Although they might be partly at least based on their large and deep root systems, studies on root system development of field-grown *Erianthus* are limited. There might be, moreover, carbon supply into soil through root turnover in perennial plants including their root exudates, which should be a possible countermeasure to global warming. Because there has rarely been, however, quantitative data on both root turnover and root exudates, we examined the root system development of field-grown *Erianthus* by soil profile and ingrowth core methods in this study. At the result, root system distribution was confirmed to enlarge into deeper soil layers in the second year after planting. Several root indices obtained in this study suggest that larger amount of thicker nodal and lateral roots might be developed to be larger and deeper root systems in the second year. Possible carbon supply into soil through root turnover in *Erianthus* was, in addition, roughly estimated to be 140 and 270 g/m<sup>2</sup> in the first and the second years, respectively, based on data obtained in this study.

**Keywords** : *Erianthus*, Ingrowth core method, Root system development, Soil carbon, Soil profile method.

### 緒言

私たち人類は、産業革命以降、多くのエネルギーを使って便利で豊かな生活を実現してきたが、それに伴って石油枯渇や地球温暖化の問題を引き起こした。これ

らの問題を解決して持続的な社会を作る必要がある。そのための一つの手段として再生可能エネルギーが注目されており (Shiotsu et al., 2011)、バイオエタノールは2000年以降、世界的に生産が増加してきた (REN21, 2014)。しかし、2008年の食糧危機を契機にして食用

作物をバイオエタノール原料とすることに批判が強まり、食料とエネルギーとの競合を避けるために、非食用作物であるセルロース系資源作物を原料としてバイオエタノールを生産するための技術開発が進められている (Boddiger, 2007; 服部ら, 2010)。

セルロース系バイオエタノールの原料作物としてはいくつかの候補があるが、著者らはエリアンサスに注目している (森田ら, 2013a)。エリアンサスはサトウキビに近縁の C<sub>4</sub> 型光合成を行う、イネ科の多年生草本植物で (Tsuruta et al., 2012)、バイオマス生産性が高いことが特徴である (Ra et al., 2012)。バイオマス生産性については、現在、群落の物質生産に着目し、群落構造の解析を進めている (金井ら, 2017)。大型の群落構造を支える根系が広く、深いこともバイオマス生産性の背景として考えられるが、若干のフィールドワーク (Sekiya et al., 2013; Sekiya et al., 2014; Sekiya et al., 2015) が行われているだけである。また、エリアンサスは乾燥・過湿条件や貧栄養土壌でも旺盛な生育を示し、ストレス耐性が高いことが知られている (Matsuo et al., 2002; Sekiya et al., 2014)。本論文の著者の 1 人である森田は、根の形態および組織構造について観察を行い、ストレス耐性との関係について考察した (Shiotsu et al., 2015)。

エリアンサスの根系に関する研究の観点としては、上記のバイオマス生産性やストレス耐性のほかに、根系形成に伴う土壌中への炭素貯留の問題があげられる (Sekiya et al., 2014)。すなわち、エリアンサスは多年生作物であり、毎年、地上部が再生するが、それに伴って新しい根が形成され、古くなった根が枯死脱落して土壌中に炭素が供給されていく。枯死脱落した根の一部は土壌微生物によって分解されて二酸化炭素が発生するが、残りは土壌中に炭素を貯留することになる。また、生きている根からは有機物が分泌されており (Iijima et al., 2008)、この現象も土壌中への炭素供給につながる。このように、多年生植物の根系形成に伴う土壌中への炭素供給、ひいては炭素貯留は地球温暖化対策となる可能性が考えられる。この問題については不明な点が多く、エリアンサスの根の枯死脱落による土壌中への炭素供給量・貯留量に関する定量的データを蓄積していく必要がある。

著者の 1 人である森田は、インドネシアのスマトラ島の鉾山跡地においてエリアンサスとネビアグラスを栽培したときに、土壌表層 30 cm における土壌炭素量が増加することを報告している (Sekiya et al., 2015)。また、土壌表層 30 cm における根の形成と枯死とをイングロースコア法を利用して解析した (Sekiya et al., 2015)。しかし、まだ研究事例が少ないことに加え、これらの検討は土壌表層 30 cm に限定したものである。さらに、

土壌断面法によるフィールド研究では、根域は少なくとも深さ 2.6 m までは広がっていることを確認されている (Sekiya et al., 2013; Sekiya et al., 2014)。そこで、本研究では出穂期における根系形態を改良土壌断面法で定量的に把握するとともに、根量の相対的な割合が高い土壌表層 30 cm における根の形成と枯死とをイングロースコア法で追跡した。両者の調査結果を踏まえて根系形成の様相について考察をしたうえで、本研究の結果から可能な範囲で両者のデータを利用して、土壌深さ 2 m までの根域における根系形成に伴う土壌中への炭素供給量の推定を試みた。

## 材料と方法

### 1. 材料の栽培

本研究では、東京農業大学農学部 (神奈川県厚木市) の圃場 (関東ローム層の赤色土壌) で栽培しているエリアンサス (*Eriarthus arundinaceus*) 品種: JES1 の群落を対象とした。手取り除草を行ったあと、耕耘機で 20 cm ほど耕起した圃場に、2014 年 6 月 13 日および 2015 年 5 月 26 日、エリアンサスの苗を条間 1 m × 株間 1 m の栽植間隔で定植した (11 株 × 10 列)。両群落とも施肥と灌水は行わず、植付け初年目のみ株周囲の除草を行った。2014 年に苗を定植し、2014 年 12 月～2015 年 3 月に地上部を刈取り、その後、2015 年に刈り株から再生した群落を定植 2 年目とした。また 2015 年に苗を定植した群落を定植 1 年目の群落とした。これらの 2 つの群落において標準的な生育を示した株を選定し、草丈と茎数を継続して記録した (金井ら, 2017)。

### 2. 改良土壌断面法

以上のように栽培した定植 1 年目と 2 年目の群落を対象として、2 つの根系調査を行った。1 つは、改良土壌断面法 (森田・豊田, 1998; Sekiya et al., 2013) で、フィールドにおける根系分布の様相を視覚的・定量的に把握するのに適している。しかし、時間と労力を要し、かなり土壌を攪乱する破壊的なものであるため、継続して同じ根系の形成過程を追跡することはできないし、頻繁に実施することも現実的ではない。そこで、本研究では出穂期に、すなわち、定植 1 年目は 2015 年 10 月 16 日、定植 2 年目は 2015 年 11 月 5 日に改良土壌断面法による根系調査を行った。イネ科作物では出穂期前後に節根の形成がほぼ終了すると経験的に考えられる。そこで、生育期間を通じて 1 回の調査で定植年数が異なる群落の根系を比較するとすれば出穂期前後が適切と考えたからである。

いずれの群落においても、生育調査の結果から、草丈と茎数が標準的な生育をした株を選定し、その株の近くに塹壕 (幅 2 m × 奥行 1 m × 深さ 2 m) を掘り、調



第1図 改良土壌断面法における根の採取。



第2図 イングロースコア法におけるメッシュバックの挿入。

査する土壌断面を垂直に整形した後、株から左右両側に 40 cm ずつ、また深さ 2 m まで、縦横いずれも 10 cm ごとに採土容器 (容積 100 cc) をハンマーで打ち込み (第 1 図)、根を含む土壌を採取した。反復は 2 とした。採取した土壌から迅速かつ丁寧に根を洗い出し、A3 Transparency Unit (EPSON) とスキャナー EXPRESSION 10000EL (EPSON) を用いて解像度 300 dpi で画像を取り込み、256 グレースケールに変換した後、根長測定ソフト Win-RHIZO Basic LA 2400 (Regent Instrument, Quebec Canada) を用いて直径別の根長を計測した。根長を測定後、80℃で 2 日間乾燥し重さを測定した。このようにして得られた根長と根重のデータを土壌体積で割って根長密度と根重密度を、それぞれ算出した。根長密度の等高線図は excel 2013 (Microsoft 社) を用いて作図した。また、根長密度および根重密度を利用して根の深さ指数 (小柳, 1998) も算出した。根の深さ指数は、根系の重心に相当する深さに相当する指標で、 $\Sigma$  (それぞれの土層の深さの中央値, cm  $\times$  その層に含まれる根長あるいは根重の割合) で定義される (小柳, 1998)。

### 3. イングロースコア法

もう 1 つの根系調査では、イングロースコア法 (Sekiya et al., 2015) を利用した。この方法を採用すると根の現存量だけでなく、形成量と枯死量とを比較的容易に区別して取り扱うことができる利点がある。ただし、改良土壌断面法と異なり、土壌深くまで調査することにはなじまない。そこで本研究では、既往研究 (関谷ら, 2015) や著者ら自身の予備的な観察の結果から、また実施上の制約との兼ね合いから、土壌表層 30 cm を対象として、定植 1 年目の群落については 7 月から、また定植 2 年目の群落は 6 月から、いずれも翌年の 2 月まで、1 ~ 2 か月ごとに調査を行った。

イングロースコア法では、生育時期 A に土壌コアを掘り出し、含まれている根量を現存量 MA とする。土

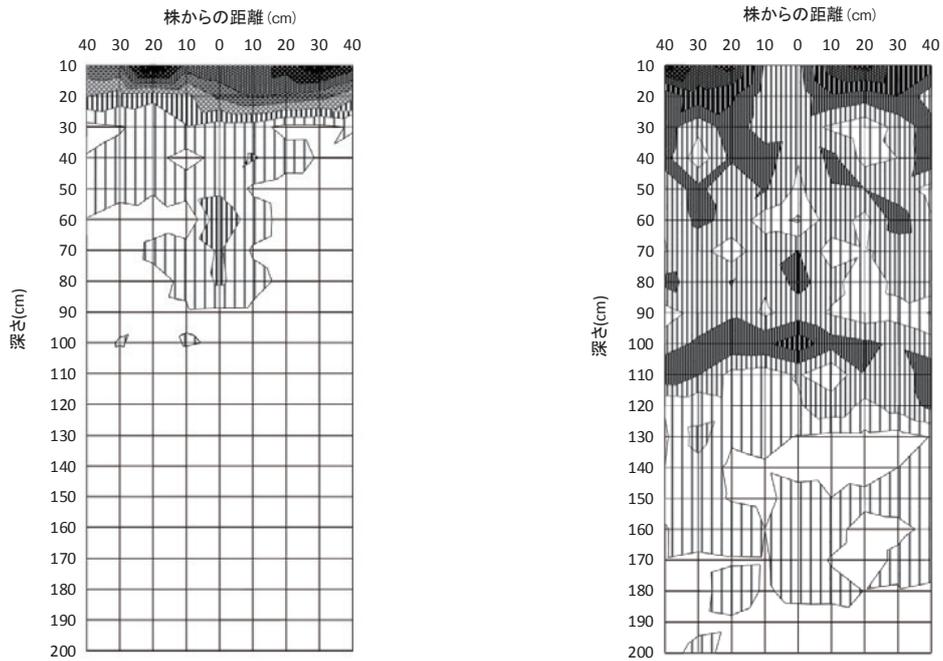
壌コアを掘り出した場所にメッシュバック (プラスチック製の円筒) を埋め、根が含まれていない土壌を充填した (第 2 図)。このメッシュバックを、1 ~ 2 か月後の生育時期 B に掘り出して、その中に存在する根量を YB とする。生育時期 A にメッシュバックを埋めた時点では中に根はなかったので、根量 YB は生育時期 A から B までの間に新たに形成された根量ということになる。また、生育時期 B に新たに土壌コアを掘り取り、その中に含まれていた根量を現存量 MB とする。このとき、「生育時期 A の現存量 (MA) + 生育時期 A ~ B に形成された根量 (YB) - 生育時期 A ~ B に枯死した根量 (X) = 生育時期 B の現存量 (MB)」という関係が成り立つはずである。したがって、上記の手順で MA, YB, MB を実測すれば、根の枯死量 X を算出できる。

本研究では対象株数が限られているため、調査箇所は以下のとおりである。すなわち、調査株の株際 (株中心から 20 cm)、条間の 2 株の中央 (同 50 cm)、相互に隣接する 4 株の中央の 3 か所から、それぞれ 3 反復ずつ根を含む土壌コアを採取した。採取した土壌コアから迅速かつ丁寧に根を洗い出し、80℃で 2 日間乾燥させた後、重さを測定して平均値を算出した。また、乾物重測定後に CN コーダー (ヤナコテクニカルサイエンス株式会社) で成分分析し、根の乾物重に対する炭素の含有率を測定した。

## 結果

### 1. 根量の分布

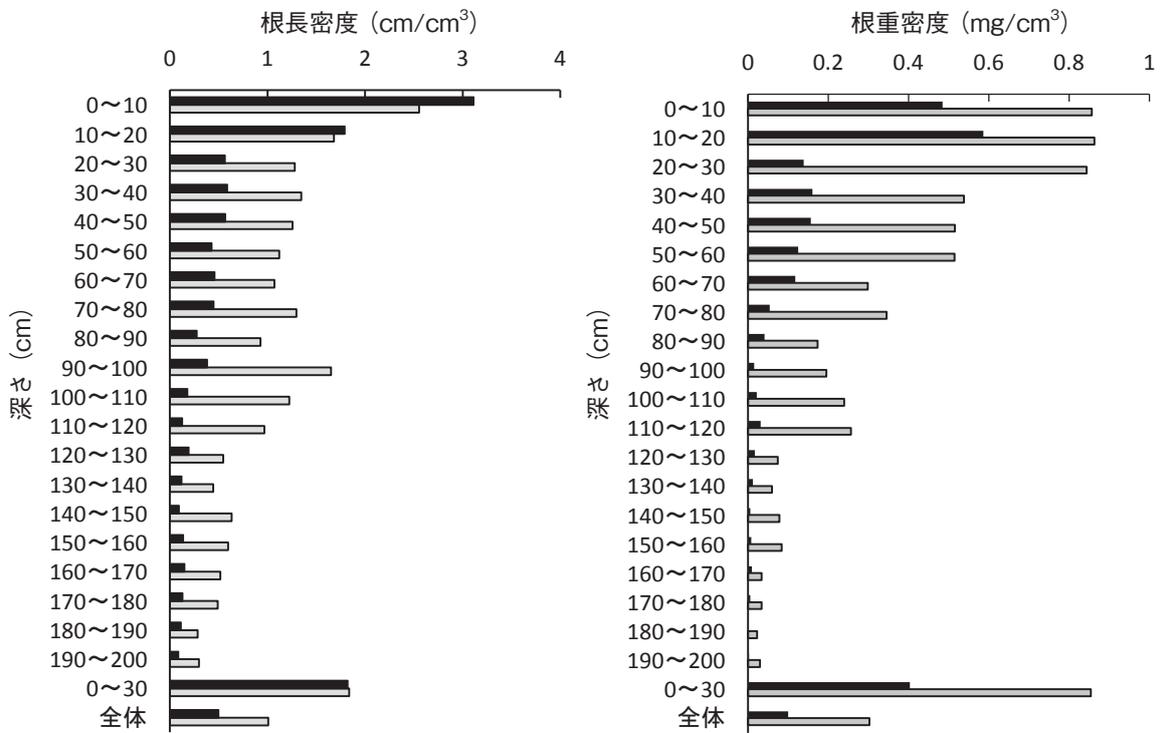
定植 1 年目と 2 年目のエリアンサス群落を対象として、出穂期に改良土壌断面法で根系調査を行った結果、第 3 図のような結果が得られた。すなわち、いずれの群落においても、土壌表面から 2 m までのすべての深さで根の存在が確認された。深さ別の根量分布をまず大まかに捉えるために、便宜上、根長密度が 0.5 cm/cm<sup>3</sup> 以上の部分を見ると、定植 1 年目は深さ 1 m までであったが、2 年目には深さ 2 m までに拡大していた。



第3図 根長密度の等値線図.

左：1年目，右：2年目，横軸の0は調査した株の位置を示す. RLD：根長密度.

- $0 < \text{RLD} \leq 0.5 \text{ cm/cm}^3$ , ▨  $0.5 < \text{RLD} \leq 1.0 \text{ cm/cm}^3$ , ▩  $1.0 < \text{RLD} \leq 1.5 \text{ cm/cm}^3$ ,
- ▧  $1.5 < \text{RLD} \leq 2.0 \text{ cm/cm}^3$ , ▦  $2.0 < \text{RLD} \leq 2.5 \text{ cm/cm}^3$ , ▤  $2.5 < \text{RLD} \leq 3.0 \text{ cm/cm}^3$ ,
- ▣  $3.0 < \text{RLD} \leq 3.5 \text{ cm/cm}^3$ , ▢  $3.5 < \text{RLD} \leq 4.0 \text{ cm/cm}^3$ , □  $4.0 < \text{RLD} \leq 4.5 \text{ cm/cm}^3$ .



第4図 深さ別の根長密度と根重密度.

左：根長密度，右：根重密度.

■：定植1年目，▨：定植2年目. 全体：深さ2mまでの平均，0~30：表層30cmの平均.

また、水平方向の経年変化をみると、定植1年目は株からの距離にほとんど関係なく、土壌表層（深さ0~30 cm）に根が一樣に分布していたが、中層（深さ30~100 cm）では株直下の根量が多い傾向が認められた。2年目になると表層から中層にかけて根長密度が増加するとともに、株直下だけでなく、中層でも根が一樣に分布していた。さらに、定植2年目には下層（深さ100~200 cm）においても根量が増えていた。

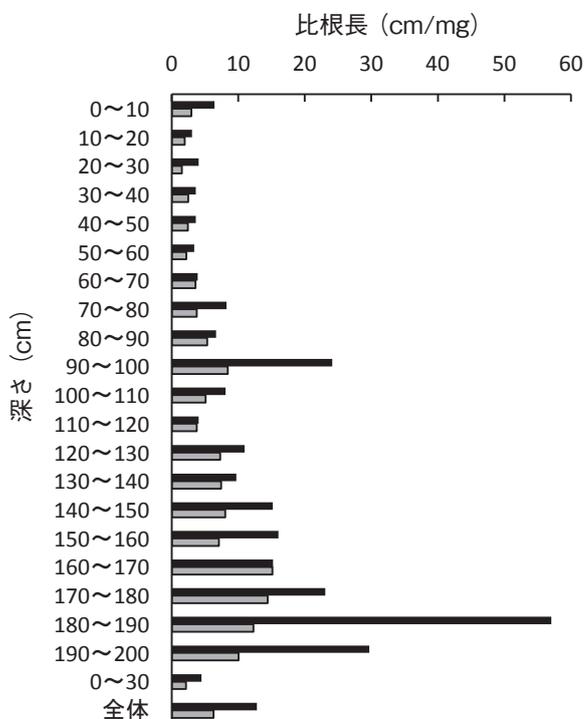
深さごとの根長密度と根重密度の様相は、第4図のとおりである。根長密度・根重密度のいずれを指標としても、定植1年目には土壌表層に根が多く、深さ2 mまでに分布する根長の55%、根重の61%がそれぞれ土壌表層30 cmに分布していた。定植2年目になると根系が深く広がり、土壌表面から30 cmまでに分布する根長は定植1年目とほぼ同じであるが、根重は約2倍に増加した。その結果、定植2年目では土壌表層30 cmに分布する根量の割合が低下し、深さ2 mまでに分布する根長の27%、根重の42%が、それぞれ土壌表層に分布していた。

また、土壌表面から深さ2 mまでに分布する根長および根重は、いずれも定植2年目に1年目の約2倍となったが、どの深さで増えたかは根長と根重とで異なっ

いた。すなわち、根長は中層~下層、また根重は表層~中層で、それぞれの増加が著しかった。また、根長密度と根重密度を利用して根の深さ指数を算出した結果、根長では定植1年目が44.3 cm、定植2年目が72.9 cmで、根重では定植1年目が33.2 cm、定植2年目が50.4 cmであり、定植2年目に根系分布が著しく深くなったことが確認できた。なお、いずれの年においても、根長密度の深さ指数>根重密度の深さ指数であった。

根長密度と根重密度のデータを利用して根量を試算したところ、定植1年目が根長で約10 km/m<sup>2</sup>、根重で約200 g/m<sup>2</sup>であり、定植2年目が根長で約20 km/m<sup>2</sup>、根重で約606 g/m<sup>2</sup>という値が得られた。すなわち、根長は約2倍、根重は約3倍に増加していた。

さらに、それぞれの深さにおける根長を根重で割り、深さ別の比根長（森田ら, 2013b）を算出したところ（第5図）、定植1年目・2年目のいずれも、概して深いほど比根長の値が大きい傾向が見られた。また、比根長はいずれの深さにおいても1年目より2年目の方が小さかった。1年目の比根長は深さ1 mと2 m 辺りで特に大きい値となることが特徴的であった。



第5図 深さ別の比根長。

■：定植1年目、■：定植2年目。全体：深さ2 mまでの平均、0~30：表層30 cmの平均。

## 2. 直径別密度の分布

土壌表層（深さ 0~30 cm）と土壌全層（深さ 0~2 m）のそれぞれにおける直径別の根長を第 6 図に示した。土壌表層における根長は定植 1 年目から 2 年目にかけ、直径 0.2 mm 未満が減少し、0.2~0.4 mm はほとんど変わらず、0.4 mm 以上で増加した。一方、深さ 2 m までの土壌全層では、いずれの直径においても根長が増加したが、とくに直径 0.2~0.4 mm で増加が著しかった。

土壌表層と土壌全層のそれぞれにおける直径別の根長割合を第 7 図に示した。土壌表層では、直径 0.2 mm 未満が減少し、0.2~0.4 mm はほとんど変わらず、0.4 mm 以上で増加した。これに対して、土壌全層では、直径 0.2 mm 未満が減少し、0.2~0.4 mm で増加し、0.4 mm 以上はほとんど変化がなかった。

## 3. 根の形成・枯死および炭素含有量

土壌表層 30 cm に分布する根が多く、根系全体に占める割合やその変化が比較的大きいことから、イングロースコア法を用いて根系形成を形成と枯死とに分けて解析したところ、以下のことが明らかになった（第 8 図）。すなわち、定植 1 年目における根の形成量は 7 月から 9 月にかけて徐々に増加し、最高に達した後、翌年の 2 月まで減少していった。一方、根の枯死量は 8 月から 10 月にかけて増加し、その後は若干の増加もあったが翌年 2 月まで減少した。その結果、形成量と枯死量の差し引きで決まる現存量は 7 月から 9 月にかけて増加し、その後 12 月まで若干増えた後、翌年度の地上部の再生まで徐々に減少した。

定植 2 年目では 6 月以降、若干の増減があったが、

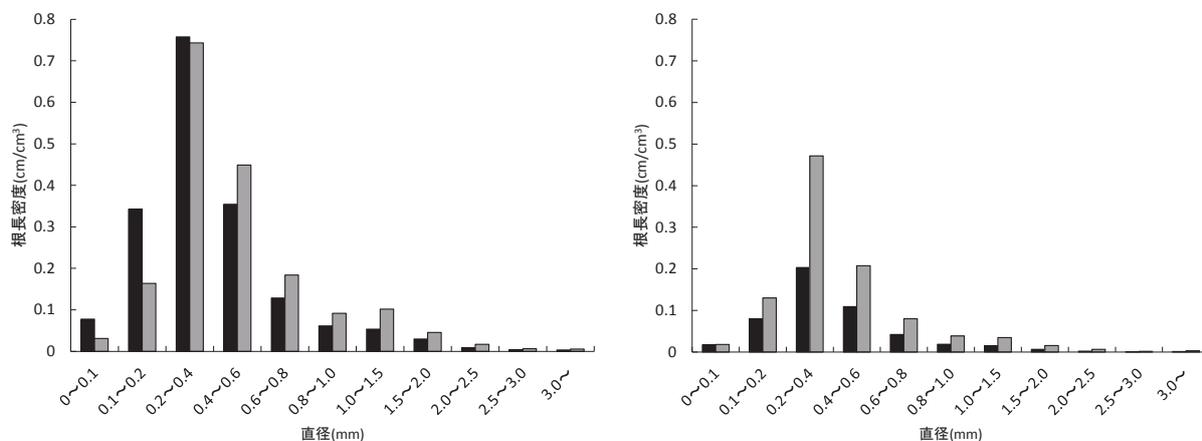
新根の形成は年末にかけてほぼ維持された。また、根の枯死は 8 月、10 月、1 月にピークがあり、11 月から 12 月にかけてはほとんど認められなかった。その結果、定植 2 年目の根の現存量は 1 年目より急激な増加傾向を示し、年末まで増え続けた。

イングロースコア法を用いて採取した根の一部を取り出して CN コーダーで成分分析をしたところ、乾物重にしめる炭素含有率は生育段階によって若干の変化はあったものの、いずれの時期も 36% 程度であった。

## 考察

### 1. エリアンサスの根系形成

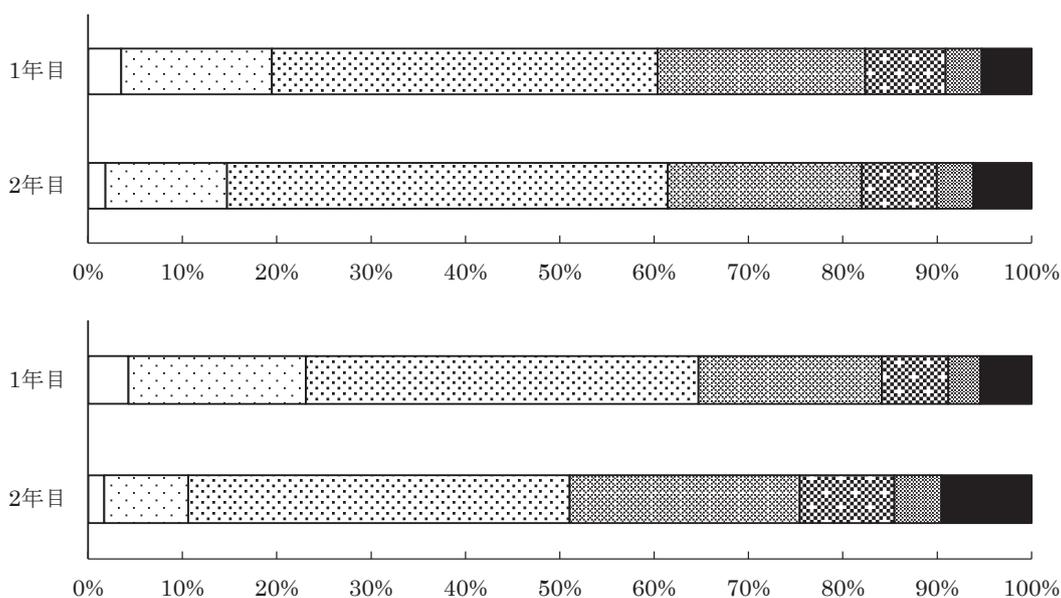
本研究では、関東地方の圃場で栽培した定植 1 年目と 2 年目のエリアンサス群落の根系形態を、出穂期に改良土壌断面法を利用して調査した。その結果、いずれの年においても、深くなるにつれて根長密度や根重密度が減少していたが（第 4 図）、定植 1 年目から 2 年目にかけて根系分布が深層へ拡大していることが、深さ別の根長密度、根重密度、これらのデータを利用して算出した根の深さ指数で定量的に確認できた。Sekiya et al. (2013) は、本研究と同一品種のエリアンサスを同じ関東地方で栽培し、同じ方法で根系調査を行った結果、定植 13 ヶ月目の根の深さ指数として 40 cm、定植 33 ヶ月に 79 cm という、本研究で得られたデータに極めて近い値を得ている。また、本研究において推定した根量は、定植 1 年目には根長が 10 km/m<sup>2</sup>、根重が 200 g/m<sup>2</sup>、また定植 2 年目には根長が 20 km/m<sup>2</sup>、根重が 606 g/m<sup>2</sup> であった。すでに関谷ら (2015) も指摘しているが、エリアンサスは主要作物と比べて概して根量が多いことが確認できた。



第 6 図 直径別の根長密度。

右：深さ 2 m まで、左：表層 30 cm まで。

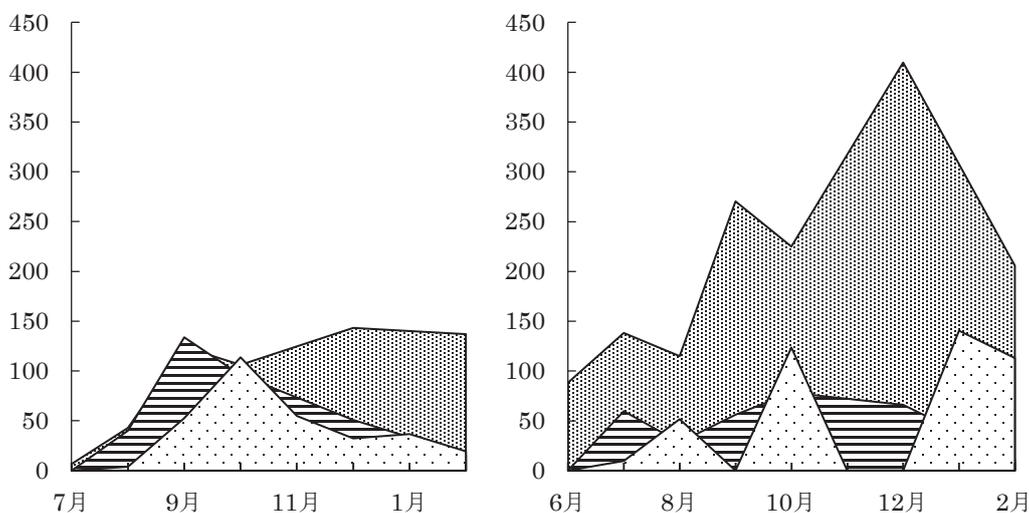
■：定植 1 年目、■：定植 2 年目。



第7図 直径別の根長密度の割合.

上：表層 30 cm まで，下：深さ 2 m まで，D：根の直径.

- 0 < D ≤ 0.1 mm,    ▨ 0.1 < D ≤ 0.2 mm,    ▩ 0.2 < D ≤ 0.4 mm,
- ▧ 0.4 < D ≤ 0.6 mm,    ▦ 0.6 < D ≤ 0.8 mm,    ▤ 0.8 < D ≤ 1.0 mm,
- 1.0 < D > 3.0 mm.



第8図 イングロスコア法で推定した根重の推移.

左：定植1年目，右：定植2年目

- ▨：根の現存量，▩：根の形成量，▤：根の枯死量.

\*採取箇所と反復数については、本文を参照のこと.

そこで、深さ別の根長密度・根重密度(第4図)、比根長(第5図)、直径別の根長の年次変動(第6図、第7図)、土壌表層における根の形成量と枯死量(第8図)を利用しながら、根系形成の様相が定植1年目から2年目にかけてどのような変化したかについて考察して

おきたい。生育調査の結果(金井ら, 2017)をみると、1年目の茎数は定植後3、4週間後に増加が始まり、最終的に70本程度になった。2年目の茎数は再生が確認された直後に急激に増加し、その後はほぼ横ばいで、最終的な茎数は70本程度で1年目とほぼ同じであった。

しかし、出穂期において生産構造図をみると、非同化器官 (=葉鞘+茎) の乾物重が1年目から2年目にかけて増えており、同じ70本の茎でも太い可能性が高いが、目視による観察結果はこの仮説を支持している。イネ (根本・山崎, 1986) やトウモロコシ (山崎・帰山, 1982) では茎の直径が太いほど、その部分に形成される節根の直径も太いことが報告されている。本研究では1年目から2年目にかけて土壌表層で直径の大きな根の長さが増えていること (第6図, 第7図) から、同じ現象が認められている可能性が高い。すなわち、定植2年目のエリアンサス群落を構成する個々の株で、茎数は1年目とほぼ同じであるが、個々の茎は1年目より太く、その茎から1年目より太い節根が形成されたものと考えられる。

また、イネ (山崎ら, 1981) やトウモロコシ (伊藤ら, 2004) では、直径の大きな節根が下方方向に伸長する傾向や、基部直径が大きな節根の最終根長が長くなる傾向 (川田ら, 1980) が認められている。以上のことを総合して考えると、2年目の地上部の再生では1年目より太い茎が (しかも、相対的に早い時期に) 形成され、その太い茎から太い節根が出現して、その太い節根が土壌の下方方向を中心に広く伸長して、深くまで達したと考えられる。このように考えると、改良土壌断面法における根系分布の変化 (第3図) と矛盾しない。

エリアンサスの比根長は例えばイネ (Kang et al., 1994) と比べると小さい値を取るが、比根長が小さい値をとる場合は節根が太いか、側根形成が旺盛でないことを示唆している。ただし、出現直後は太い節根が (定植2年目の群落では) 土壌深層に達するまでの間に徐々に細くなっているはずである。イネ (川田ら, 1980; 佐々木ら, 1983) では、節根の直径が減少していく部分で側根形成が進む傾向が認められている。同じ傾向がエリアンサスでも認められれば比根長が大きくなるはずである。そこで第5図をみると、深いほど比根長が大きい傾向は認められるが、それぞれの深さでは1年目に比べて2年目で小さくなっている。以上を総合すると、1年目より2年目で節根 (および側根の一部) が太くなっている可能性が高い。

本研究では根量を根の直径別に解析したが、既往研究 (Shiotsu et al., 2015) および著者らの観察に基づいて、直径0~0.4 mmを細い側根、0.4~0.6 mmを太い側根と節根、0.6 mm以上は節根として考察を行った。定植2年目では、土壌表層30 cmにおける直径0.2~0.4 mmの根長が増加している (第6図左, 第7図上) が、エリアンサスでは直径0.5 mmが節根と側根との境界と考えられるので、定植2年目には太い側根が増えていると考えられる。トウモロコシでは節根が太いと、その節根に形成される側根も太い傾向が認められており

(山崎・帰山, 1983), エリアンサスでも同じ現象が起きているとすれば、言い換えると太い節根と太い側根が増えたとすれば、定植2年目に比根長が小さくなった事実と整合する。

ただし、土壌表層30 cmにおける根系形成については、イングロースコア法による調査結果 (第8図) も参考にしながらもう少し考察することが可能である。すなわち、土壌表層30 cmにおける根長密度は1年目と2年目とでほとんど同じであるが、根重密度は約2倍になった (第4図)。このことは、2年目には太い根が同じ長さ分布しているということであるので、細い節根や細い側根が枯死して、それに代わって太い節根や太い側根が増えた可能性が高い。もしそうだとすれば、比根長の低下につながるはずである。直径別の根長データ (第6図, 第7図) をみると、根長が減少したのは主に側根と考えられる。ただし、エリアンサスの節根の少なくとも基部では時期によってデンプン粒が蓄積されていることが報告されており (Shiotsu et al., 2015), これが比根長にどれくらい影響するかは明らかでない。これを含めて今後、検証が必要である。なお、このような根系形成、すなわち太い節根の増加と細い側根の減少は、イングロースコア法の結果 (第8図) を参照すると、6月~10月に起こったと考えられる。

## 2. 土壌への炭素供給量の推定

本研究では、定植1・2年目のエリアンサス群落における根系形成を検討した結果、多くの根が新たに形成されるとともに、古い根が枯死脱落したことが明らかとなった。この根の枯死脱落の他、生きている根からの有機物の分泌によっても土壌に炭素が供給される。本研究では根からの有機物の分泌については取り扱っていないので、エリアンサスの根系形成によって、どれくらいの量の炭素が実際に土壌中に供給されるかは明らかではない。ただし、いずれにしても炭素が土壌中に貯留されれば、最終的には地球温暖化対策となる可能性がある。そこで、本研究における改良土壌断面法のデータとイングロースコア法のデータとを組合せて、土壌中への炭素供給量について簡単な試算を試みた。

イングロースコア法における出穂期の土壌表層の現存量と、生育期間中の枯死量の合計との比率が、土壌全層でも同じように成り立つと仮定した。両者の比率は、定植1年目が1:1.94、定植2年目が1:1.26であった。改良土壌断面法で調査した出穂期における深さ2 mまでの現存量は、定植1年目が約200 g/m<sup>2</sup>、定植2年目が約606 g/m<sup>2</sup>であったので、枯死量の合計は定植1年目が約380 g/m<sup>2</sup>、定植2年目が約760 g/m<sup>2</sup>という計算になる。本研究でエリアンサス根の炭素含有率を

実測したところ、約 36%であった。炭素含有率が生育時期や根の部位などによってほぼ同じだと仮定してみると、定植 1 年目は約 140 g/m<sup>2</sup>、また 2 年目は約 270 g/m<sup>2</sup> の炭素が土壤中に供給されることになる。

土壤中への炭素供給量に関する以上の推定にはもちろん誤差が含まれるし、供給された炭素の内のどれくらいが呼吸で大気中へ放出されるかも、信頼性が高いデータが得られているわけではない。また、生きている根から有機物が分泌されているが (Iijima et al., 2008)、その量も圃場で容易に測定できないため考慮していない。このような不確定要素がいくつもあることを踏まえ、取り敢えず本研究では炭素の貯留量ではなく、炭素の供給量を試算した。根からの有機物の分泌についても検討を始めており、多年生植物の根系形成による地球温暖化対策について検討を進めていきたいと考えている。

### 謝辞

本研究で材料としたエリアンサスの苗は、農研機構・九州沖縄農業センターの我有満氏から分譲して頂いたものである。根系調査では東京大学農学部農学科作物学研究室の学生の協力を得た。また、本研究の一部は住友財団環境研究助成を受けたものである。

### 引用文献

- Boddiger, D. 2007. Boosting biofuel crops could threaten food security. *The Lancet*. 370: 923-924.
- 服部太一郎, 塩津文隆, 森田茂紀 2010. 食糧生産とバイオエタノール生産の動向. 鮫島正浩編 次世代バイオエタノール生産の技術革新と事業展開—持続可能社会実現に向けたセルロース系バイオマスの利用技術—. フロンティア出版, 東京. pp. 25-33.
- Iijima, M., Morita, S., Barlow, P. W. 2008. Structure and function of the root cap. *Plant Prod. Sci.* 11: 17-27.
- 伊藤香織, 森田茂紀, 阿部淳 2004. 圃場で栽培したトウモロコシおよびソルガム節根の伸長方向と根冠の形態. *根の研究* 13: 9-13.
- 金井一成, 新村悠典, 森田茂紀 2017. エネルギー作物エリアンサスの群落構造の解析—一定植1・2年目群落の生産構造図の比較—. *東京農業大学農学集報* 62: 13-20.
- Kang, S., Morita, S., Yamazaki, K. 1994 Root growth and distribution in some japonica-indica hybrid and japonica type rice cultivars under field conditions. *Amer. J. Plant Sci.* 63: 118-124.
- 川田信一郎, 佐々木修, 山崎耕宇 1980. 水稻根における分枝の様相, とくに冠根の直径と分枝との関係について. *日作紀* 49: 103-111.
- Matsuo, K., Chuenprecha, T., Matsumoto, N., Ponragdee, W. 2002. Eco-physiological characteristics of *Erianthus* spp. and yielding abilities of three forages under condition of cattle feces application. *JIRCAS Working Report* 30: 187-194.
- 森田茂紀, 関谷信人, 阿部淳 2013a. セルロース系バイオエタノール原料作物の研究戦略. *日本エネルギー学会誌* 92: 562-570.
- 森田茂紀, 関谷信人, 阿部淳 2013b. 根系の形態を「見る」. *根の研究* 22: 111-118.
- 森田茂紀, 豊田正範 1998. メキシコ合衆国バハ・カリフォルニア州の沙漠地域で点滴灌漑栽培を用いて栽培したトウガラシおよびメロンの収穫期における根系の形態. *日作紀* 67: 353-357.
- 根本圭介, 山崎耕宇 1986. 水稻主茎における茎の伸長, 肥大と1次根の形態との関係. *日作紀* 55: 352-359.
- 小柳淳史 1998. 深さの定量化による作物根系の新しいとらえかた. *日作紀* 67: 3-10.
- Ra, K., Shiotsu, F., Abe, J., Morita, S. 2012. Biomass yield and nitrogen use efficiency of cellulosic energy crops for ethanol production. *Biomass Bioenerg.* 37: 330-334.
- REN21 2014. Renewable global status report 2014. REN21, Paris.
- 佐々木修, 山崎耕宇, 川田信一郎 1983. 水稻冠根の伸長に伴う直径の変動と2次根の出現密度との関係. *日作紀* 52: 1-6.
- Sekiya, N., Abe, J., Shiotsu, F., Morita, S. 2014. Cultivation of *Erianthus* and napier grass at an abandoned mine in Lampung, Indonesia. *Amer. J. Plant Sci.* 5: 1711-1720.
- Sekiya, N., Shiotsu, F., Abe, J., Morita, S. 2013. Distribution and quantity of root systems of field-grown *Erianthus* and napier grass. *Amer. J. Plant Sci.* 4: 16-22.
- Sekiya, N., Shiotsu, F., Abe, J., Morita, S. 2015. Production and shedding of *Erianthus arundinaceus* roots revealed by ingrowth core method. *Grassl. Sci.* 62: 61-65.
- 関谷信人, 塩津文隆, 阿部淳, 森田茂紀 2015. 原料作物のエリアンサスとネビアグラスの根. *根の研究* 24: 11-22.
- Shiotsu, F., Abe, J., Doi, T., Gau, M., Morita, S. 2015. Root morphology and anatomy of field-grown *Erianthus arundinaceus*. *Amer. J. Plant Sci.* 6: 103-112.
- Shiotsu, F., Hattori, T., Morita, S. 2011. Biomass as energy resource. In *United Nations University ed., Designing Our Future from Local and Regional Perspective Bioproduction, Ecosystem and Humanity*. United Nations University Press, Tokyo. pp. 88-98.
- Tsuruta, S., Ebina, M., Kobayashi, M., Hattori, T., Terauchi, T. 2012. Analysis of genetic diversity in the bioenergy plant *Erianthus arundinaceus* (Poaceae: Andropogoneae) using amplified fragment length polymorphism markers. *Grassl. Sci.* 58: 174-177.
- 山崎耕宇, 婦山長憲 1982. トウモロコシ根系を構成する1次根の外部形態およびその伸長方向. *日作紀* 51: 584-590.
- 山崎耕宇, 婦山長憲 1983. トウモロコシにおける1次根の直径と2次根の形成. *日作紀* 52: 59-64.
- 山崎耕宇, 森田茂紀, 川田 信一郎 1981. 水稻冠根の伸長方向と直径との関係. *日作紀* 50: 452-456.

## 「根っこのえほん」 学校図書館出版賞受賞

中野明正

農研機構

### 1. 学校図書館出版賞

「根っこのえほん」全5巻(株式会社大月書店)が、第19回学校図書館出版賞を受賞した。この賞は、公益社団法人全国学校図書館協議会が、学校図書館向け図書の優良な出版企画を顕彰し、学校図書館向きの優良な図書の出版を充実させることを目的としているもので、当会の選定図書のうち、第19回は2016年5月1日から2017年4月30日までに出版された図書を対象にし、学校図書館出版賞選考委員会が「学校図書館賞選考基準」をもとに行ったものである。2017年6月2日に表彰式が開催され、小林巧(埼玉県立大宮中央高等学校司書教諭)選考委員長から受賞理由が発表された。それによると「これまでに類書のない「根っこ」をテーマとしていることに驚かされる。全巻、植物画のページに切れ込みがあり、下を開くと地下部の根が、上を開くと花が見られるようになっている。単純な仕掛けではあるが、子供たちがページをめくって発見する喜びを引き出す優れた工夫であり、図書というメディ

アの特徴を最大限に生かしているという点でも高く評価した。」という講評をいただいた。表彰式当日は、犬飼会長も駆けつけていただき、筆者も受賞スピーチをさせていただき、根研究学会としての取り組みの一端を発信できた良い機会となった。

### 2. 「根っこのえほん」全5巻に込めた思い

5巻の構成は、1巻「おいしい根っこ」、2巻「野菜の根っこ」、3巻「フルーツの根っこ」、4巻「水中にのびる根っこ」、5巻「大きな木の根っこ」となっている。根研究学会員を中心に協力いただいた。根のバリエーションの広さが、一般の読者の方々にも、驚きをもって評価されたことを、身をもって感じた。本シリーズを企画者としては、本作品は小学生を対象にし、幼少から食や農への関心を高めること期待したものである。さらに、この本をきっかけに、より多くの方々に、日ごろ目に見えない根っこの大切さ、美しさを発見していただき、根への理解を深めていただければ、望外の幸せである。



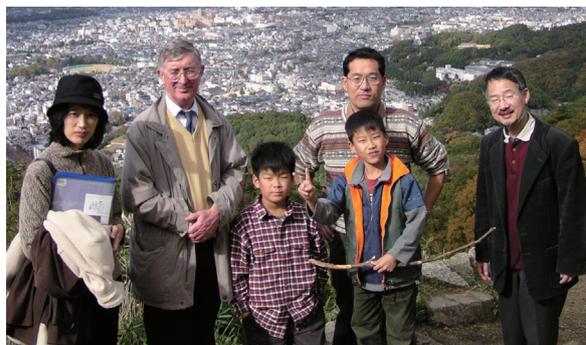
## Peter Barlow 先生の思い出：根冠の形態と機能をめぐって

飯嶋盛雄

近畿大学農学部

Barlow 先生に初めてお会いしたのは、1993年に横浜で開催された第1回 JSRR ワークショップ「Morphology and Function of Plant Root Systems」であった。私のつたない発表に対して、雲の上の存在であった Barlow 先生からいただいたやさしいコメントに感動したことを覚えている。その Barlow 先生のことを、「Hi Peter!」と呼ぶようになったのは、1998年の在外研究がきっかけであった。スコットランド作物研究所の Glyn Bengough 氏、Barlow 先生、そして私が取り組んだのが、Root Border Cells (Sloughed Root Cap Cells, 根冠脱落細胞) が土壌の抵抗をどのように減じるか、という一連の研究である。Barlow 先生はご存知のように数多くの根冠の形態と機能に関する論文を執筆されており、そこに土壌物理学を専門とする Glyn が共同研究をもちかけたのである。スコットランド南東部にある Glyn の研究室で得た根の先端部を、イングランド南西部の Barlow 先生の研究室に持ち込み、Barlow 流の「根のパラフィン切片の作成」技術を徹底的に叩き込まれた。結構な数のサンプルがあったため、連日、旧式回転式マイクロトームを回していた。ブリストル大学の Barlow 先生の居室は、実験室と執務室が同じ部屋であったため、私のすぐ後ろでは、Barlow 先生がいつも執筆活動をされていた。マイクロトームの切削音を聞けば、今、何に苦戦しているのかもわかるらしい。その切削音とパソコンのキーボードをたたきつける音（感情がこもると独り言をつぶやきながら、急にその音が大きくなった）がまじりあった不思議なメロディーが今でも私の耳に残っている。仕事が一段落すると、いろいろなバーに連れて行っていた。洞窟の中にビール樽が一つだけ置いてある、とあるバーでは、その絶品のビールを、「これならどうだ Morio?」とうまそうに飲まれていた。このときの仕事が縁で、Barlow 先生らと科研研究を継続することとなった。ちょうど2001年に名古屋で開催された第6回国際根研究学会 (ISRR) シンポジウムの準備で私も含めて皆さん忙しい時期であったため、Barlow 先生にもいろいろなことをお願いしながら、日本にも科研研究がらみでも来日していただいた。2003年には拙宅にも泊まっていただき、当時小学生だった息子たちともども一家総出で Barlow 先生と京都研究旅行(写真)に出向き、すき焼き、てんぷら、そばなどの和食を食べ歩き、日本食談義を、そのブームのはるか以前にたたかわせた。Barlow 先生は、このころになって、Barlow

先生の師である Clowes 博士との思い出をいろいろと語ってくれた。静止中心にまつわる、師と弟子との間の論争の裏話も聞かせていただいた。Barlow 先生との共同研究の集大成は、日本作物学会の英文誌に根研究会初代会長の森田先生とともに共同で執筆した総説「Structure and function of the root cap」である。2007年頃に執筆した総説論文は、当時は全く反響もなく、投稿する雑誌を間違えたのか?という残念な気持ちにとらわれた。しかし、10年近く経過した最近になって、むしろよく読まれるようになったようだ。海外からも問い合わせがたまにあるのだが、「もう根冠の仕事は続けていない」と、お断りをしている昨今である。あるとき、Barlow 先生からは、「共同研究というものは新しい視点を常に見出さなければ継続すべきではない」という言葉をいただいた。そのとおりで、この総説で書いたこと以上の展開を当時の私には見いだせなかった。最近になって、異種の作物の根を絡め合わせる研究に夢中になっており、これに対する Root cap の関与に関して Barlow 先生に尋ねてみようかな、と考えていた矢先に、Barlow 先生の訃報を聞かされた。Barlow 先生からは、研究の話ではなく、「日本の文化に関する問いかけ」がメールで突然舞い込む、ということが何度もあった。福島原発災害の直後、励ましのメールもいただいた。Barlow 先生はつくづく日本的な感性、「義理と人情」をもたれていたと思う。今でも突然、日本の文化を尋ねるメールがいただけそうな気がしてならない。「ところで、なぜ、日本は----。もしもおまえが知らなければ、知っている人を探して答えなさい!」というメールは、もういただけないのであろう。Barlow 先生のご冥福を祈りたい。



2003年11月、大文字山山頂から京都市街を臨む。  
左から2人目が Barlow 先生、右から2人目が著者。



# Root Research 根の研究

編集委員長	松村 篤	大阪府立大学大学院生命環境科学研究科
副編集委員長	小川 敦史	秋田県立大学生物資源科学部
	中野 明正	農研機構・野菜花き研究部門
編集委員	宇賀 優作	農研機構・次世代作物開発研究センター
	大段 秀記	農研機構・九州沖縄農業研究センター
	亀岡 笑	酪農学園大学循環農学類
	唐澤 敏彦	農研機構・中央農業研究センター
	草場新之助	農研機構・果樹茶業研究部門
	久保 堅司	農研機構・東北農業研究センター
	塩野 克宏	福井県立大学生物資源学部
	田島 亮介	東北大学大学院農学研究科
	辻 博之	農研機構・北海道農業研究センター
	仲田(狩野)麻奈	名古屋大学大学院生命農学研究科
	福澤加里部	北海道大学北方生物圏フィールド科学センター
	松波 麻耶	農研機構・東北農業研究センター
	南 基泰	中部大学応用生物学部
	山崎 篤	農研機構・東北農業研究センター
	森 茂太	山形大学農学部

事務局 〒104-0033 東京都中央区新川 2-22-4 新共立ビル 2F  
株式会社共立内 根研究学会事務局  
Tel : 03-3551-9891  
Fax : 03-3553-2047  
e-mail : neken2017@jsrr.jp

根研究学会ホームページ <http://www.jsrr.jp/>

年会費 電子版個人 3,000 円, 冊子版 (+ 電子版) 個人 4,000 円, 冊子版団体 9,000 円

根の研究 第26巻 第2号 2017年6月15日印刷 2017年6月20日発行  
発行人: 犬飼義明 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町  
名古屋大学農学国際教育協力研究センター  
印刷所: 株式会社共立 〒104-0033 東京都中央区新川 2-22-4 新共立ビル 2F

# Root Research

**Japanese Society for Root Research**

**Original Paper**

Root system development of field-grown *Erianthus* population and its possible contribution to carbon supply into soil

Issei KANAI, Yusuke SHINMURA, Jun KOJIMA, Takanori OKABE and Shigenori MORITA ..... 25