

イネの分げつ構造を図示する Logo プログラム

石川哲也¹⁾・草佳那子²⁾・鈴木保宏³⁾

(¹⁾ 農研機構東北農業研究センター, (²⁾ 農研機構中央農業総合研究センター, (³⁾ 農研機構作物研究所)

要旨：イネ科作物の分げつ次位が、着生する穂の穎花数や粒重に及ぼす影響について、さまざまな研究が行われてきた。これらの調査結果を、分げつ構造をふまえて処理間で比較するため、イネの分げつ構造を模式的に図示し、個々の分げつについての調査結果を対応させて表示するプログラムを作成して、その有用性について検討を行った。イネの多様な分げつ構造は、リスト形式を用いて統一的に記述することが可能である。また、標準的な表記法により表形式で保存された分げつ構造の調査結果は、表計算プログラムの並べ替え機能と文字列操作関数を利用して、リスト形式に変換できる。描画プログラムの作成には、プログラム言語 Logo を採用し、タートルグラフィックス機能と再帰的呼び出し機能を活用した。本プログラムでは、主稈と1次分げつを太い線で強調して描画することや、「長円形」で描画される穂を、分げつの次数に応じて描画面における位置を揃えることができる。さらに、定性的情報である分げつの有効・無効を示すだけでなく、定量的情報である着生葉数や1穂当たり粒数などを、任意に設定できる階層で区分し、描画した穂の内部を塗り分けることにより表示できる。本プログラムで描画された模式図は、分げつの長さや立体的配置は正確ではないが、分げつ間の相対的な関係は正しく表現され、栽培条件に応じて変動する分げつの構成や、個体内分げつ間の生育競合などを直観的に把握することが可能である。本プログラムは農研機構職務作成プログラムとして認定され、所定の手続きにより利用可能である。

キーワード：イネ、再帰的呼び出し、分げつ構造、穂、リスト、Logo。

イネ科作物の分げつは、栄養生長期間においては光合成を担う「ソース」としての機能を有しつつ、自らを生長させる「シンク」でもある。その後、分げつが無効化せずに出穂して、穎花が受精すると、子実が主要な「シンク」として機能し、収量に大きな影響を及ぼす。そのため、分げつ次位が、着生する穂の穎花数や粒重に及ぼす影響について、さまざまな研究が行われてきた(松村ら 1984, 松村ら 1985, 松村ら 1988, 渡部ら 1994, 石川ら 1998)。しかし、これらの調査結果は、特定の節位・次数の分げつに着目した比較が容易である一方で、個体全体に対する処理の影響を解析する場合には、個々の分げつについての調査結果の総計または平均として比較されることが多く、分げつの構造をふまえた比較は容易ではない。とくに、栽植密度が低い、あるいは窒素施肥量が多いなど、多くの分げつが発生する条件で、その傾向が顕著である。

これまでに、筆者らは、同様に多様な分枝構造を示すイネの穂を記述するデータ形式を提案し、模式図をコンピュータ画面に描画するプログラムを作成し、プログラムの応用により、分げつ構造も描画できることに言及した(石川・鈴木 2003)。そこで、本報告では、イネを対象として、個体の分げつ構造を統一的に記述する形式を示すとともに、記述したデータを用いて、分げつ構造の模式図をコンピュータ画面に描画するプログラムを開発したので、その特徴や処理の流れについて報告する。さらに、圃場試験の調査結果を用いて、有用性について行った検討についても報告する。

プログラムの作成と実行結果

1. 分げつ構造を記述するためのデータ形式と既存のデータの変換

分げつ構造を記述するためのデータ形式として、前報(石川・鈴木 2003)で穂の構造の記述に用いた「リスト」を、本報告でも採用した。その理由は、生育条件により発生節位や次数がさまざまに異なる個体内の分げつを、統一した考え方により、逐次的に処理できるためである。本報告においても、データ形式としてのリストを「リスト」、分枝構造をリスト形式で記述したデータを「リスト・データ」と区別して表記した。また、分枝構造は、前報で穂の基部側から記述したのと同様に、個体あるいは分げつの基部側から記述した。

これまでの形態学的研究においては、分げつは、その発生する節位に基づいて表記され(後藤 2003, 松葉 2003, 大江 2008)、個別の分げつについての調査結果である着生葉数や稈長、1穂当たり粒数などは、この表記法に対応して記録されることが多い。このように記録されたデータは、表計算ソフトを用いて、並べ替えを行ってから、高次分げつを分枝する分げつ「群」をサブリストへくくり込み、対応する「[]」を付与した文字列に変換することにより、分げつ構造を記述する「リスト」が作成できる。その一例として、松葉(2003)による農林9号の分げつ別着生葉数の調査結果を、リスト・データに変換する手順を第1表に示した。原典の順序に記載された分げつの表記を、1~3次

第1表 表計算ソフトによるリスト・データ作成手順.

原典順序	原典表記	1次分げつ 発生節位	2次分げつ 発生節位	3次分げつ 発生節位	着生葉数	対応 文字列
9	2 p	2	0		6.3	[[6.3
29	21 p	2	1	0	5	[5
30	211	2	1	1	4	4
31	212	2	1	2	4	4
32	213	2	1	3	3	3
10	21	2	1	M	5.1	5.1]
11	22	2	2		4.8	4.8
12	23	2	3		4	4
13	24	2	4		3.7	3.7
14	25	2	5		3.4	3.4
2	2	2	M		8	8]
15	3 p	3	0		5.6	[5.6
33	31 p	3	1	0	4	[4
34	311	3	1	1	4	4
35	312	3	1	2	3	3
16	31	3	1	M	4.4	4.4]
17	32	3	2		4.3	4.3
18	33	3	3		3.6	3.6
19	34	3	4		3.3	3.3
3	3	3	M		6.9	6.9]
20	4 p	4	0		5	[5
21	41	4	1		4	4
22	42	4	2		3.7	3.7
23	43	4	3		3.1	3.1
4	4	4	M		5.6	5.6]
24	5 p	5	0		4.4	[4.4
25	51	5	1		3.4	3.4
26	52	5	2		3.1	3.1
5	5	5	M		4.7	4.7]
27	6 p	6	0		x	[x
28	61	6	1		3	3
6	6	6	M		4	4]
7	7	7			4	4
8	8	8			3	3
1		M			10	10]

空白をはさんで順に結合してリストを作成↓

[[6.3 [5 4 4 3 5.1] 4.8 4 3.7 3.4 8] [5.6 [4 4 3 4.4] 4.3 3.6 3.3 6.9] [5 4 3.7 3.1 5.6] [4.4 3.4 3.1 4.7] [x 3 4] 4 3 10]

松葉 (2003) による農林9号の着生葉数のデータを用いた.

p を 0 に置換, n 次分げつは (n + 1) 次の発生節位を M とし, 昇順に並べ替える.

全体の先頭に 'I' を付加し, 0 を 'J' に, M を 'J' にそれぞれ置換する.

'I' があれば最初に配置し, 次に着生葉数 (6p は 'x' とした) を, 'J' があれば最後に配置して, 対応文字列を作成する.

これらを, 空白をはさんで順に結合して, 全体のリスト・データを作成する.

分げつの発生節位に分解し, 前出葉を示す p を 0 に置換し, 高次分げつを発生した「母茎」には M を入力してから, 各次数の昇順に並べ替えを行う. この例では, 0~M で示される分げつ群, すなわちサブリストは, 3 次分げつを含むものが 2 つ, 2 次分げつを含むものが 5 つあることが示

されている. 文字列操作関数を用いて, 各分げつに対応する部分文字列を作成し, 順に結合すると, 全体のリスト・データが得られる.

ここで, 本報告における「リスト・データ」と, 渡邊 (2007) により紹介されている L-system との違いについて簡単に

2. プログラムの基本構成

分枝構造のリスト・データを描画するプログラムは、リスト処理が容易で、描画操作を単純化できるタートル・グラフィックス（パパート 1982）機能を実装しているプログラミング言語 Logo を用いて作成した。前報（石川・鈴木 2003）で採用した Open Prolog は、現行の Macintosh コンピュータでは動作しないため、言語そのものを変更し、本報告では、Mac OS X 10.5 以降で動作する ACS Logo を採用した。開発者の開設したホームページ（<http://www.alancsmith.co.uk/logo/>）から、本稿執筆時点ではバージョン 1.5.1 のプログラムとユーザーガイド、コマンドリファレンスが入手できる。本プログラムでは、分げつ数の多い個体を表示するため、描画するウィンドウを横 1200 × 縦 800 ピクセルに設定している（変更は可能）。したがって、できるだけ多くのピクセルを表示可能なディスプレイを使用することが望ましい。

本プログラムにおける処理の流れを第 1 図に示した。前報（石川・鈴木 2003）とは異なり、分げつ構造を記述したリスト・データは、末尾から処理される。最初に主稈が、続いて高位の分げつから順に描画される。2 次分げつを分枝する 1 次分げつの場合も同様に、まず 1 次分げつが、続いて高位の 2 次分げつから順に描画される。すなわち、「母茎」のより近くに位置する高位の分枝を先に描画することにより、分げつ同士が描画面上で重ならないようにしている。

処理の流れ（第 1 図）は、

- a) リスト・データから末尾の要素を取り出す。個体全体を記述したリスト・データからは、主稈を表すデータが取り出される。1 次分げつ「群」を表すリスト・データからは、1 次分げつそのもののデータが取り出される、
 - b) 取り出された要素が分枝を表すリスト・データである場合は、本プログラムを再帰的に呼び出し、入力データとして与える、
 - c) 取り出された要素が無効分げつの場合、より高次の分げつがあれば、穂のない長い分枝として描画し、単独の無効分げつの場合は、痕跡のみ描画する、
 - d) 取り出された要素が有効分げつの場合は、長い分枝の先端に穂を描画する、
 - e) a) で末尾の要素を取り除いたリスト・データに別の要素が残っている場合には、本プログラムを再帰的に呼び出して、末尾の要素を取り除いたリスト・データを与える。これにより、元のリスト・データの末尾から 2 番目の要素が処理される。この再帰的呼び出しを、リスト・データが空になるまで繰り返して実行することにより、すべての要素を処理することができる、
- というものである。

このように、同一のプログラムを再帰的に呼び出して、個体全体、1 次分げつ、2 次分げつの順に、理論的にはどの回数までも処理することが可能である。

分枝構造を記録したリスト・データは、データ識別名、

リスト・データ本体、描画時の塗り分けのための階層区分（Logo におけるリスト形式で記録）、調査項目名（同）の順に 4 行（改行コードは LF）1 セットのデータとしてテキストファイルとして保存し、プログラムで読み込む。複数のセットを同じファイルにまとめることもできる。データ識別名や調査項目名として日本語が使用可能であり、エンコーディングとしてシフト JIS とユニコード（UTF-8）が使用できる。

3. 分げつ構造の模式図の定義と描画プログラムの作成

本報告では分げつ構造の模式的な図示が目的であり、描画にあたっては、分げつの長さや太さ、穂の形状などは考慮しなかった。また、分げつは「母茎」に対して 90 度の角度で、左右交互に分枝するものと仮定し、上位分げつと重ならない位置まで描画面の水平方向に延長してから、上方向に 90 度折り曲げて伸長させ、先端に「長円形」の穂を描画した。分げつの描画方向は、'subtiller' を呼び出すときに、直前に描画した分げつと逆になるよう、引数で与えている。また、分げつの折り曲げ位置は、描画面ですぐ内側に描画された分げつ群との間に、新たに描画する分げつ数を、再起呼び出しにより計算して決定している。分げつそのものが無効化した場合には、ごく短い分枝のみを描画した。

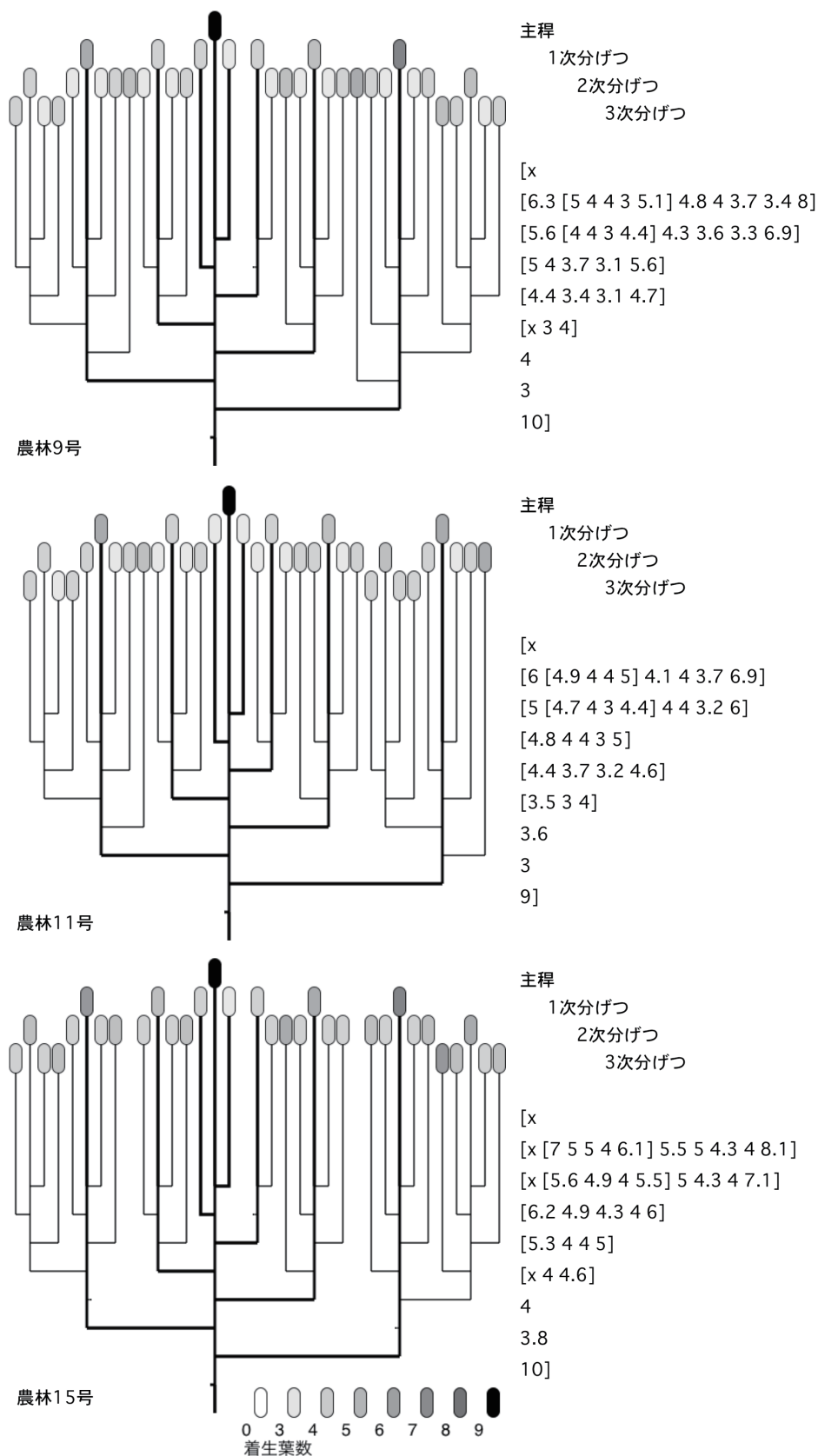
また、穂が描画される描画面上の位置を、分げつの回数ごとに揃えたとともに、主稈と 1 次分げつは、太い線で描画することによって強調している。

第 1 表で変換した松葉（2003）による農林 9 号の着生葉数の調査結果に、農林 11 号、農林 15 号の調査結果をあわせて、分げつ構造との関係を第 2 図に示した。本例では、各分げつの着生葉数を 8 区分に階層化して、穂を示す「長円形」の内部をグレイスケールで塗り分けている（カラー表示も可能）。このように、分げつ別に調査した量的形質を、任意に設定できる階層に区分して、同様に表示することができる（第 3 図）。

なお、ACS Logo は描画した模式図を汎用型式の画像ファイルとして保存する機能を備えており、他のプログラムで加工・印刷することができる。

プログラムの活用

本プログラムを用いて、稲発酵粗飼料用品種の分げつ構造および 1 穂当たり粒数に施肥法が及ぼす影響を図示した（第 3 図）。この試験は 2008 年 5 月 14 日に、リーフスターとタチアオバのポット苗を栽植密度 22.2 株 m^{-2} で 1 本植えて、2 反復制で実施した。施肥条件は、高度化成として窒素を 5 g m^{-2} 施用した「化成のみ区」、牛糞堆肥 4 kg m^{-2} を施用した「堆肥のみ区」と、両者を併用した「化成 + 堆肥区」の 3 区とした。穂揃い後に各反復から 5 個体を採取し、有効分げつの発生節位および回数と 1 穂当たり粒数を調査し、2 反復合計 10 個体の節位・回数別合計値を 10

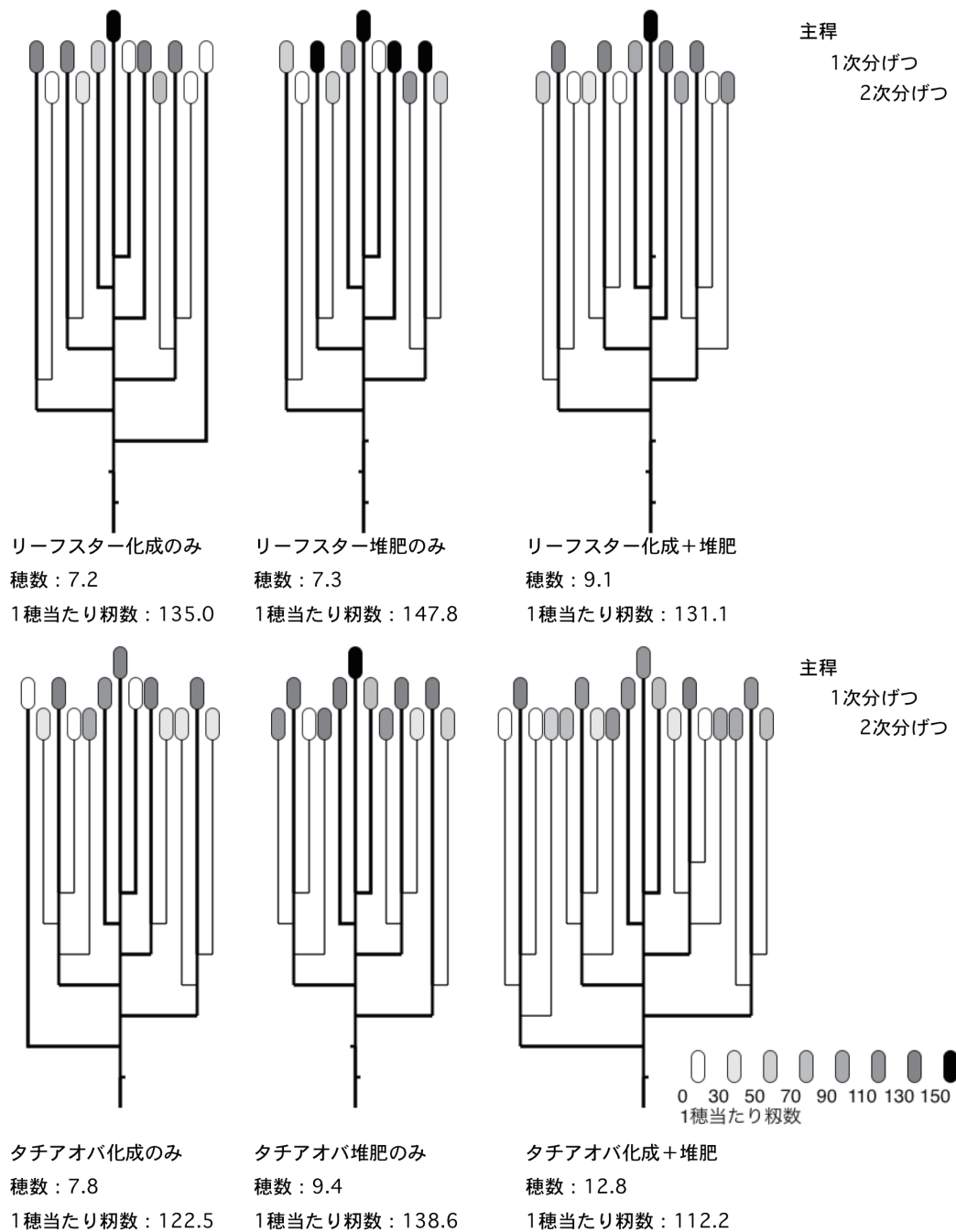


第2図 分げつ構造と着生葉数との関係。

松葉 (2003) による農林9号, 農林11号, 農林15号の着生葉数のデータを用いた。

分げつが発生しなかった節は痕跡で示し, 有効分げつは, 穂を示す「長円形」の内部を, 着生葉数の階層別に塗り分けて示した。

図右側の主稈・分げつ次数および元データは, プログラムでは表示されない。



第3図 分げつ構造と1穂当たり粒数との関係。

分げつが発生しなかった節は痕跡で示し、有効分げつは、穂を示す「長円形」の内部を、1穂当たり粒数の階層別に塗り分けて示した。

図右側の主稈・分げつ次数は、プログラムでは表示されない。

で除して平均値を求めた（1個体のみで有効化した分げつも、調査した1穂当たり粒数を10で除した値で描画され、描画される分げつ数は平均穂数より多くなる）。

品種間で比較すると、タチアオバはリーフスターより1～2節低位の1次分げつおよびその2次分げつが有効化したことが示された。処理間の比較では、両品種とも「堆肥のみ区」の穂数が「化成のみ区」よりやや少ない傾向が認められた。また、2次分げつおよび高位分げつの1穂当た

り粒数は少なく、とくに「化成のみ区」で顕著であった。これらの結果より、「化成のみ区」では生育初期の施肥窒素によりある程度の分げつが確保できたが、1穂当たり粒数の決定される時期には窒素不足に陥ったため、1穂当たり粒数が増大しなかった可能性が示唆された。一方、「堆肥のみ区」ではその逆に、気温があまり高くない生育初期には堆肥からの窒素発現が少なく、分げつは少なかったが、気温が上昇すると窒素が発現して、1穂当たり粒数が増大

したことが示唆された。このように、分けつ次位をふまえた処理間比較において、本プログラムを活用できると判断された。

本プログラムは、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構の職務作成プログラムとして認定され、現在登録作業中である。利用を希望する場合は、連携広報センター普及・実用化促進係 (029-838-8641) に連絡し、所定の手続きを経て、利用許諾を受けることとなる。

引用文献

- 後藤雄佐 2003. 水稻の分けつ性. 日作紀 72: 1-10.
- 石川哲也・藤本寛・丸山幸夫 1998. 多収性水稻品種タカナリの分けつ特性および穎花形成特性. 日作紀 67(別 1): 14-15.
- 石川哲也・鈴木保宏 2003. イネの穂の分枝構造を図示する Prolog プログラム. 日作紀 72: 350-357.
- 松葉捷也 2003. 極早生水稻の分けつ体系からみた高位分けつの発生機構. 日作紀 72: 62-67.
- 松村修・波多江政光・岐部利幸 1984. 二条大麦品種における分けつ別の穂の発生と収量について. 日作紀 53(別 2): 42-43.
- 松村修・波多江政光・岐部利幸 1985. 水稻品種における分けつ別の穂の発生と収量について. 日作九州支部報 52: 8-11.
- 松村修・北川壽・下坪訓次 1988. 小麦品種における分けつ別収量について. 日作九州支部報 55: 66-68.
- 大江真道 2008. 作物の形態研究法: マクロからミクロまで. 分けつについて. 日作紀 77: 229-232.
- パパート, S. 1982. マインドストーム. 子供, コンピューター, そして強力なアイデア. 奥村貴世子訳. 未来社, 東京. 69-110.
- 渡部隆・榎本信幸・石川哲也・寺島一男 1994. 栽植密度の異なる散播水稻における生育特性について. 日作紀 63(別 2): 33-34.
- 渡邊朋也 2007. 作物の形態研究法: マクロからミクロまで. 仮想植物の作成 2. 形態と生長のモデル化 L-studio の利用. 日作紀 76: 124-127.

A Computer Program Written in Logo to Illustrate the Tillering Structure of Rice (*Oryza sativa* L.) : Tetsuya ISHIKAWA¹⁾, Kanako KUSA²⁾ and Yasuhiro SUZUKI³⁾ (¹⁾NARO Tohoku Agr. Res. Cent., Fukushima 960-2156, Japan; ²⁾NARO Agr. Res. Cent.; ³⁾NARO Inst. Crop Sci.)

Abstract : The characteristics of each tiller are affected by the tillering structure of the individual plant. For the comparison among treatments, we developed a computer program written in Logo to illustrate the tillering structure of rice plant. This program works on Mac OS X 10.5 and higher environment. It is authorized as 'program created on duty' of NARO, available after the prescribed procedure with NARO Collaboration and Public Relations Center (TEL: +81-29-838-8641).

Key words : List, Logo, Panicle, Recursive call, Rice, Tillering structure.