

植物の生長を数値化する — 農業現場におけるBBCH法利用の提案 —

独立行政法人 農業技術研究機構

中央農業総合研究センター・耕地環境部・畑雑草研究室 與語靖洋

はじめに

作物栽培にかかわる農作業は、病虫害雑草防除に限らず、播種・移植、施肥、花の摘果、接木や収穫に至るまで様々ある。そこで、作物および雑草の生育を正確に把握することは、各作業適期の把握や気象災害予防のために極めて大切である。農薬の中でも特に除草剤や植物生育調節調整剤は、葉効・葉害の観点から使用基準に示してある適期処理を逃すことはできない。しかし実際のところ、同じ作物でも場面や地域等で生育時期の表現が異なるとか、極めて専門的な表現を用いる等、素人には理解しにくい場合もある。

一方、情報化時代の到来であらゆる情報をデータベース化する試みがなされてきており、農業場面も例外ではない。そのために植物の生育段階についても、標準化のための万国共通の物差し（表現）が必要であり、具体的には数値化や記号化が試みられてきた。ここではThe extended（改良型）BBCH法について紹介する。

1. 植物生育段階表現方法の現状

農学や生物学分野においても、イネや麦等のイネ科作物の葉齢進展については、葉の生育と分けつや発根との間に密接な関係があることが知られている。これら植物の葉齢（LS）は、次式により表す。

$$LS = n - 1 + L_n/L_0 \quad (\text{図-1})$$

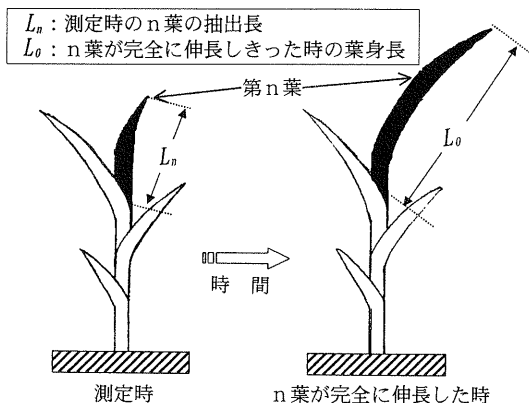


図-1 イネ科植物の葉齢進展の数え方

一方、双子葉植物では一般には展開葉数を数えることで发育の程度を示すが、ある時点における連続する2枚の发育中の葉長を測定することで生育段階を示すプラストクロン・インデックス（Plastochron Index; P.I.）法がある。詳細は割愛するが、イネ科の中でもトウモロコシやヒエのように複数の葉が同時期に展開中になるような場合にも充分適用できる方法である。しかし実際のところ、主要穀物ですら葉齢の表記方法は必ずしも統一されていない。例えばイネの葉齢については、作物学で提唱された第1葉は農林水産省で使用している不完全葉であり、両者で1枚のずれがある。麦の節数は欧米では下から、日本では上から数える。

一方、雑草の生育段階表記法については、笠原安夫先生の「日本雑草図説」を抜きには語れ

ない。現在示されている幼植物の葉齢進展は全てこの著作が基本となっている。まず水田雑草については、主要一年生雑草であるヒエ、ホタルイおよびコナギの幼植物段階については統一されており、多年生雑草についてもある程度基準がある。これらについては各著書に記載されており、最近発刊された「水稻作用除草剤試験の手法」にもタイヌビエを始めとする数種水田雑草の幼植物段階の葉齢進展について図説・解説してある。除草剤利用の側面から考えるとこれで充分かもしれないが、少し大きくなった雑草や双子葉植物、特に匍匐型の草種等については統一的に示した例はない。

畑雑草においては、イネ科雑草は水田のヒエとほぼ同様に判断できる。しかし広葉雑草となると、一部の一年生雑草の葉齢進展に関しては例が示されているものの、必ずしも統一されていない。それは畑雑草の草種が幅広く、葉のつき方（対生、互生）や草型（直立、匍匐）等が生育環境や生育段階で異なるため、一定のルールを当てはめにくいためである。

2. 植物の葉齢進展の数値化・記号化の目指すもの

はじめにも述べたが、ここで整理すると、第一に簡便性およびわかりやすさである。作物や雑草の生育を数値化するのに一般的に用いられるものとして、草丈（全長）や草高、さらには新鮮重や乾物重ならば素人でも簡単に測定・理解できる。しかし、病虫害・雑草防除、植物生長調整剤や施肥（追肥）の時期を正確に把握するには、芽生え、分げつ、開花、結実等の生育段階を誰にでもわかるように表現する必要がある。ところが言葉による記載は、方言や専門用語が中心となるため覚えにくく、説明もしにく

い。そこで数値化・記号化を行い、さらに図説と組み合わせる等の工夫により、農家や農業改良普及員等が作物や雑草の生育段階を簡単に理解できるようになる。

第2に確実性や再現性である。生育段階を簡単に表現できても、調査する人によって結果や値が異なるようでは使いものにならない。例えば処理時期が限定されている植物生育調節剤や処理時期と効果との間に相関がある除草剤においては、地域ごとに試験データを積み重ねて、処理適期幅を確定する必要がある。その際、処理時期が正確に記載されていないと、しっかりと使用基準を策定できない。また、数値化とその判断基準が明確になることでデータベース化もしやすく、農業場面にとどまらず科学的な研究にも利用できる。

第3に汎用性および柔軟性である。これらのデータは広い地域、できれば世界で共通に利用できること、一年生作物から永年性作物、さらに雑草まで多様な植物種に適用できることも大切である。また生育段階は幼植物だけでなく、植物の生活史全体、言い換えれば栽培期間全体を同様に表記することも求められる。

3. 植物生育の数値化の歴史

作物の生育を数値化する試みは、まずイネ科作物の麦から始まった。今から60年前、Feeksが提唱し、Largeが図説している。彼等は麦の出芽から登熟までの生育段階を1～11の数値で示し、出穂～成熟期については、さらに詳細に分けている（図-2）。その後Klompがイネにも適用しているが、論文発表等はなされていない。1974年、Zadoksらは麦類について00～99の2桁の十進法（2桁コード、two-digit code）で表した。この方法をもとにヨーロッパの公的およ

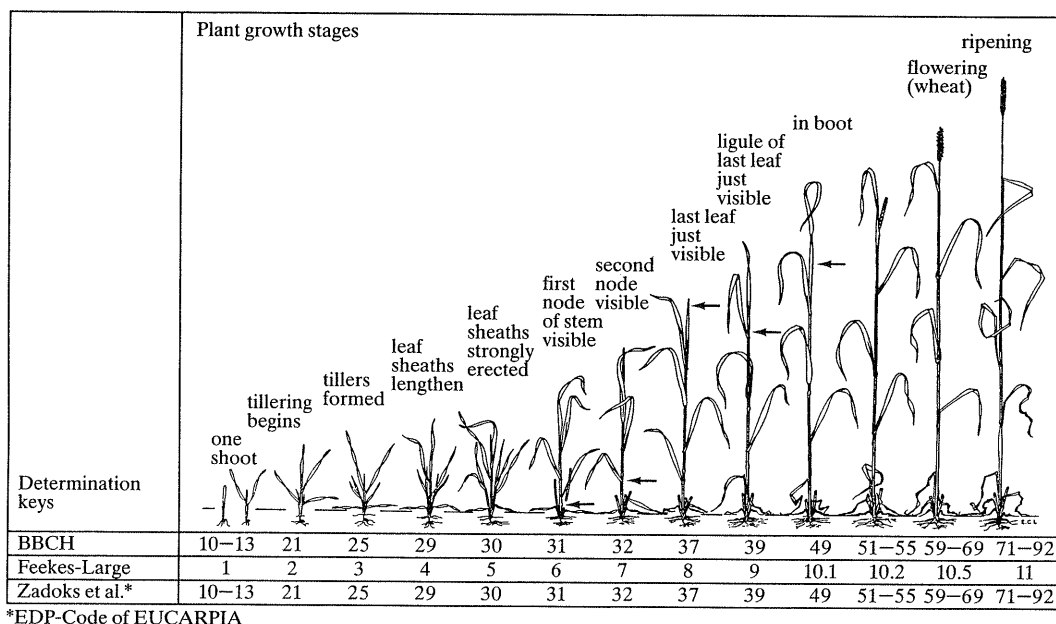


図-2 植物の生育を数値化する各種方法の比較 (麦の例)

出典: Manual for Field Trials in Plant Protection, 第3版, ノバルティス クロッププロテクション
(現: シンジェンタ)

表-1 改良型 BBCH法のスケール (Hack et al., 1992)

2桁目	生育段階	1桁目	生育の詳細
0	発芽・萌芽・出芽期	0, 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9	0: 乾燥種子, 7: 発芽・萌芽, 9: 出芽
1	葉の展開期	0~9	0: 本葉展開開始, 1~9: 本葉の枚数
2	側枝または分げつ形成期	1~9	0: 側枝・分げつ展開開始, 1~9: 側枝・分げつ数
3	茎葉伸長・葉鞘生育期	1~9	1~9: 茎葉高さ・直径の割合または節数
4	収穫部の生長期	0, 1, 3, 5, 7, 9	0: 穂等の发育開始~9: 終了 (サイズ) またはノギ見え始め (イネ科)
5	出穂・花芽形成期	1, 5, 9	1: 花序・花芽・出穂始~9: 同終期
6	開花期	0~9	0: 開花始~9: 開花終了までの割合
7	果実発達・乳熟期	1~9	1~9: 果実サイズの現時点/最終の割合, または種子の熟度 (イネ科: 1, 3, 5, 7)
8	登熟期	1, 5, 7, 9	1: 成熟・色づき始~9: 同終, または糊熟期 (イネ科: 5)
9	枯死 (枯凋)・休眠期	1, 3, 5, 7, 9	3: 落葉始, 5: 同 50%, 7: 同終, 9: 収穫物, 多年生の場合=1: 地上部发育終, 7: 休眠期

び民間の試験研究機関が協力して、全ての作物・雑草に適用できるBBCH法を作成し、現在それをさらに改良したもの (The extended BBCH法,

1992, 2nd ed. 1997) がヨーロッパおよびカナダを中心に普及している。少し余談になるが、BBCHの由来は、Biologische Bundesanstalt

Bundessortenamt and Chemical industryとも、BASF, BAYER, CIBA-GEIGY, HOECHSTとも言われている。

また、作物および雑草草種を5つのアルファベットで記載するいわゆる「バイエルコード」をご存知でしょうか？これは、アメリカおよび日本雑草学会が推奨している植物名のコンピュータコードである。両者を組み合わせれば、コンピュータへの入力等が大変簡単になる。実際、いくつかの農業メーカーでは、これらを利用して圃場試験におけるオンサイトのデータ入力を行うことで、試験の効率化や精度向上を図っている。

4. BBCH法の基本的原理

以下に示した基本的考え方を理解すれば、BBCH法は作物学や植物生態学に精通していなくても簡単に使いこなせる。ここでは、BBCHワーキンググループが作成した「Compendium of Growth Stage Identification Keys for Mono- and Dicotyledonous Plants (Extended BBCH scale)」の内容を基本に述べる。また、引用文献の後に麦類と雑草の例を図に示し、General (一般) スケールを表にまとめたので、参考にしていただきたい。

第1に00～99の十進法「2桁コード (two-digit code)」で表すことである。植物の全ての生育段階(ライルサイクル)について、2桁目(一次的生育段階, Principal growth stage)は生育段階を大まかに10に分け、1桁目(二次的生育段階, Secondary growth stage)でその詳細を示すことになっている(表-1)。即ち、2桁目を分げつや開花等植物の状態から判断して決めて、その中を1桁目で詳細に表すのであ

る。

第2にわかりやすい形態的特徴で表すことである。一般的に2桁目は、より生育段階の進んだものを用いる。しかし利用目的(摘花剤等は開花状態が大切)や植物種によって適当に選定してもよい。1桁の数値は、葉や節の数や最終生育量に対する割合の数値そのものを用いる。では葉や分げつ数が9を越えたらどうするのか。9以上は、基本的に2桁目が次の生育段階に行かない限り全て9とするか、特別な場合に限って後述の中間的生育段階(Mesostage)等を含めた「3桁コード (three-digit code)」を利用する。

第3に主茎における状態で判断する。特に記載がない限り上記のことは全てそうする。但し、該当する生育段階(2桁目)が2つ以上あるまたは示したい場合は、個体の場合「16/22」、群落の場合16～22のように表してもよい。

第4に全ての植物に00～99の全てのスケールを当てはめるのではない。BBCHのGeneralスケール表に、その点が記載されているが、双子葉(D)、単子葉(M)、栄養繁殖器官からの発達(V)、イネ科(G)、多年生(P)について、基本的に当てはまる生育段階(2桁目)や記述があるので、実際はそれだけを使えばよい。

5. BBCH法的具体的例

前述のBBCHワーキンググループの作成した冊子には、Generalスケール以外に、下表に示した作物および雑草に対して、BBCHスケールが表と図説で具体的に示されている。この冊子に記載してある方法で、現在50%の植物種に適用できるといわれている。作物や雑草ごとに一度スケールを決めてしまえばそれに従えばよい。また、BBCHスケールがわからなくても、前述の

「3. BBCH法の基本原理」にある原理と表、および後述の「Step 2. スケールの決め方」に従えば、ほぼ間違いなくできる。具体的には以下の手順で行う。

Step 1. 参照するBBCH表の選定（表-2）

A) 作物

＜問1＞その作物のBBCHスケールが示されているか？

はい：その作物のページを参照する。

いいえ：＜問2へ＞

＜問2＞利用できるBBCHスケールがあるか？

はい：どのBBCHスケールに従ったか明記の上、参照する

いいえ：General（一般）スケールを参照する。

B) 雑草

＜問1＞雑草のBBCHスケールが利用できるか？

はい：雑草のBBCHスケールを参照する。

いいえ：＜問2へ＞

＜問2＞作物の方で利用できるBBCHスケールがあるか？

はい：どのBBCHスケールに従ったか明記の上、参照する。

いいえ：Generalスケールを参照する。

（注）雑草の場合、作物と属や形態的特徴が類似している等、草種によっては＜問2＞から始めた方がよいことがある。

Step 2. スケールの決め方

A) 作物ごとのBBCHスケールの場合

① 2桁目を決める。

・1個体で該当する段階が2つ以上あるときは、1) 試験目的や植物種によって1つに絞り込むか、2) 両方の段階について調べる。

・1群落で該当する段階が2つ以上の幅にまたがっている場合は、最少と最大の2段階、中間値・平均値・最頻度の段階のみ等、作物栽培や試験における目的によって決める。

② ①で調査すると決めた全ての段階について1桁目を決める。

・葉の枚数、分げつ数、側枝の数、節数等、該当するスケールの基準項目を計測し、そのスケールを当てはめる。

・1個体で①で決めた2桁目が2つ以上あるときは、両方の段階について調べ、16/22のように記載する。

・1群落で①で決めた2桁目が2つ以上の幅にまたがっている場合は、最大・最少の範囲を示すので、小さい段階は低いスケールを大きい段階は高いスケールを当てはめて、16～22のように示す。

③ 2桁コードで示せない場合は、下記のように全ての段階で3桁コードを利用する。但し、そのルールはかなり複雑で分かりにくいので、

表-2 BBCHスケールが具体的に示されている作物

植 物 群	詳 細（各作物等）
一年生イネ科作物	麦類、イネ、トウモロコシ
一年生広葉作物	ナタネ、ソラマメ、ヒマワリ、ビート（甜菜）、ジャガイモ、ダイズ、ワタラッカセイ、ホップ、タマネギ、根菜、葉菜（結球する）、葉菜（結球しない）、その他のアブラナ科野菜、キュウリ、トマト、エンドウマメ、菜豆
木本類	ナシ状果（リンゴ・ナシ）、石果（モモ・ウメ・サクランボ）、スグリイチゴ、柑橘類、ブドウ

いくつかの例を示すにとどめる。

・対象植物：キュウリ、タマネギ、ジャガイモ、大豆、トマト等・表2にある作物：その作物のBBCHスケールを用いる。

・それ以外の植物：

a) 節数、葉数、分げつが10以上ある場合、

2 桁コード：P Q (例：39＝節数9以上，29＝分げつ数9以上)

P：2 桁目，Q：1 桁目

3 桁コード P Q₁ Q₂ (例：315＝節数15，218＝分げつ数18)

Q₁：1 桁目の10の位，

Q₂：1 桁目の1の位

(注) この場合分げつが10より少なくても，3 桁コードを用いる

例えば節数が5の場合，305と表す。

35と表記しない。

b) 側枝の発達が1次，2次と時間を追って明確である場合

2 桁コード：P Q

P：2 桁目，Q：1 桁目

3 桁コード P N X (例：235＝5 番目の側枝の第3次側枝が出る，549＝第4次側枝の最初の花弁見え始め(蕾の形成の終了)

621＝2 番目の花が10%開花)

(注) この場合，番号のつけ方が複雑なので，必ずBBCHの説明と図説を参考にすること。

c) 葉齢進展をさらに細かく表記したい場合(著者が使っている応用例)

2 桁コード：P Q (例：13＝2. X葉期，Xは約5以上)

P：2 桁目，Q：1 桁目

3 桁コード P Q₁ Q₂ (例：12.5＝2.5葉期)

Q₁：1 桁目の10の位，

Q₂：1 桁目の1の位

B) General (一般) または雑草の場合

前述のD，M，V，G，Pの何れに該当するかを決めて，それに従ってBBCHスケールを利用する。あとは，A)の作物の場合と同様に行う。なお，雑草の場合は，葉のつき方によって数え方を換える。互生は1枚ずつ，対生は1ペアずつ，輪生は節で数えるのがよいであろう。但し，記載は何れも葉の展開期：10～19で行う。

6. 今後の課題

以上改良型BBCH法について説明してきたが，実際の利用にあたっては，注意すべき問題点はいくつかある。第1に葉齢の数え方等，一部の作物・雑草で生育ステージが統一されていないことがある。これはBBCH法導入以前の問題であると同時に，どの方式を採用したかによってコードが変わってくるので，数値化導入の意義が半減してしまう。当面は図説・解説を交えて使っていくしかないが，植物学・作物学分野に大きく期待したい。

以降は雑草防除関連の問題になるが，第2に雑草の葉のつき方がきれいに分けられないことである。例えば，スベリヒユは1植物の中に対生と互生の両方があるし，イヌノフグリやチョウジタデ等は下部が対生で上部が互生である。また多くの双子葉植物が初生葉あたりは対生または一見対生でその後互生になる。その場合どのように数えたらよいか？1つの提案として，BBCHスケールが10～19，即ち幼植物段階におけ

る葉のつき方が問題となるので、分げつや側枝が出る前の葉のつき方を基本に数えることが考えられる。雑草防除、特に除草剤利用の観点からもそれで充分であろう。

第3に既存の農薬使用基準における表現との互換性である。例えば、水稻のヒエ剤を対象とした試験のように雑草の葉齢を0.1葉刻みで表記したい場合、2桁コードで示せない。これに関しては、前述の「c) 葉齢進展をさらに細かく表記したい場合」の方法が一つの解決法であろう。しかし、これまで「草丈30cm以下」とか表現していたものはどうであろうか？圃場では、草丈や草高の方がわかりやすく、便利であろうから敢えてBBCH法に切り替える必要がないかもしれないし、BBCH法の方が処理時期と効果との相関性が高いかもしれない。

おわりに

農学には作物別および、植物防疫や土壌肥料等、作業技術別で多くの分野があるが、農家はそれらが複雑に絡み合う中で、一つのあるいは複数の作物を栽培する。BBCH法のように、全期間を通して作物の生育を正確かつ統一して表現することは、まさに現場対応の手法である。一方、農学においても、最終的に作物を栽培するという視点から見ると研究方向としての統合化は大切なゴールの一つであり、それぞれの分野が単独の研究テーマを扱うにしても、各作物の生育に共通の物差しがあることは大切である。このBBCH法が農学における分野別研究と現場とを結びつける一つの橋渡しになれば幸いである。

なお末筆ながら、今回の記事をまとめるにあたり、各種資料をご提供下さり、ご助言いただいたシンジエンタ ジャパン株式会社および同社の森島靖雄氏にこの場を借りて感謝する。

引用文献

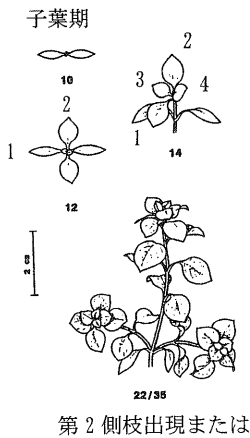
- 1) 今井勝 (1981): 「光合成研究法」, 共立出版: 7-9, ISBN: 3045-417060-1371
- 2) 笠原安夫 (1985): 「日本雑草図説」, 養賢堂
- 3) 草薙得一 (1994): 「雑草管理ハンドブック」, 朝倉書店: 39, ISBN: 4-254-40005-5
- 4) 芝山秀次郎 (1989): 除草剤の試験方法に関する研修会: 8
- 5) 日本植物調節剤研究協会編 (1993): 「水稻作用除草剤試験実施基準 (改訂版)」: 15
- 6) 日本植物調節剤研究協会編 (2002): 「水稻作用除草剤試験の手法」: 14-19
- 7) 野口勝可 (1989): 除草剤の試験方法に関する研修会: 36
- 8) 星川清親 (1990): 「稲学大成」第1巻 (形態編), 農山漁村文化協会: 77-81, ISBN: 4-540-90003-X
- 9) 奥語靖洋 (2001): 関東雑草研究会第13回研究会講演要旨: 23
- 10) 渡辺泰・宮原益次 (1981): 雑草とその防除 18: 12-15
- 11) Bayer (1992): "Important Crops of the World and their Weeds", 2nd ed.
- 12) BBCH working Group (1997): "Compendium of Growth Stage Identification Keys for Mono- and Dicotyledonous Plants (Extended BBCH scale)", 2nd Edition, ISBN: 3-9520749-3-4
- 13) Feeks W. (1941): Verslag Technische Tarwe Commission 12: 523-888, 17: 560-561
- 14) Hess M. et al. (1997): Weed Research 37: 433-441
- 15) Lancashire P.D. et al. (1991): Ann. Appl. Biol. 119: 561-601

- 16) Large E. C. (1954): Plant Pathology 3: 128-129
- 17) Novartis Crop Protection AG (1992): "Manual for Field Trials in Plant Protection", 3rd ed.: 246-253
- 18) Witzemberger E. et al. (1989): Gesunde Pflanzen 41: 384-388
- 19) Zadoks J.C. et al. (1974): Weed Research 14: 415-421

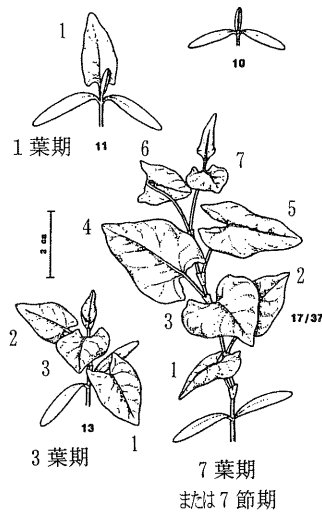
雑草への応用例

出展: Compendium of Growth Stage Identification Keys for Mono- and Dicotyledonous Plants(1997)

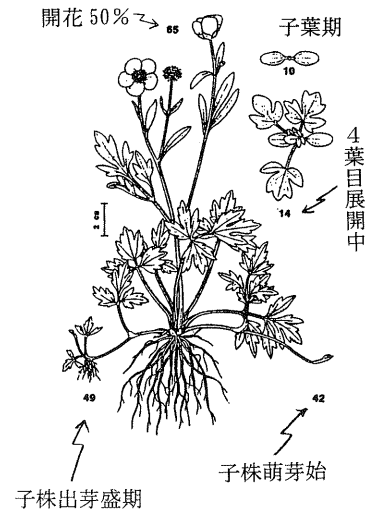
ハコベ
Stellaria media(L.) Vill.



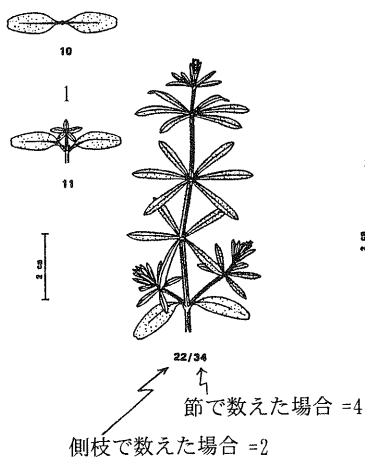
タデ類
Polygonum convolvulus L.



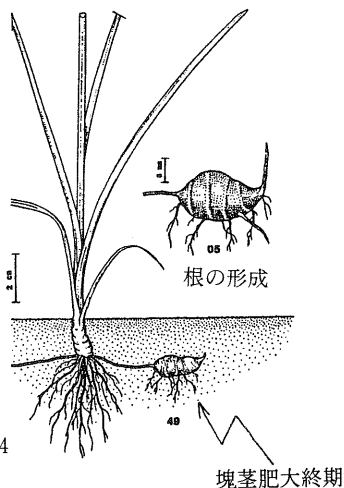
キンポウゲ科
Ranunculus repens L.



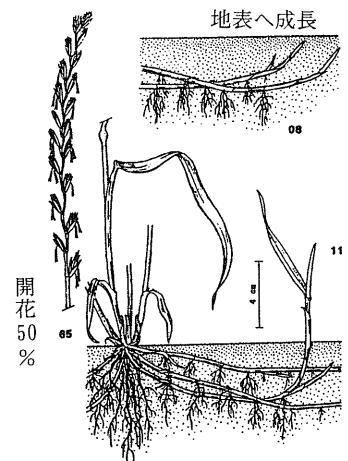
ヤエムグラ
Galium aparine L.



ハマスゲ
Cyperus rotundus L.

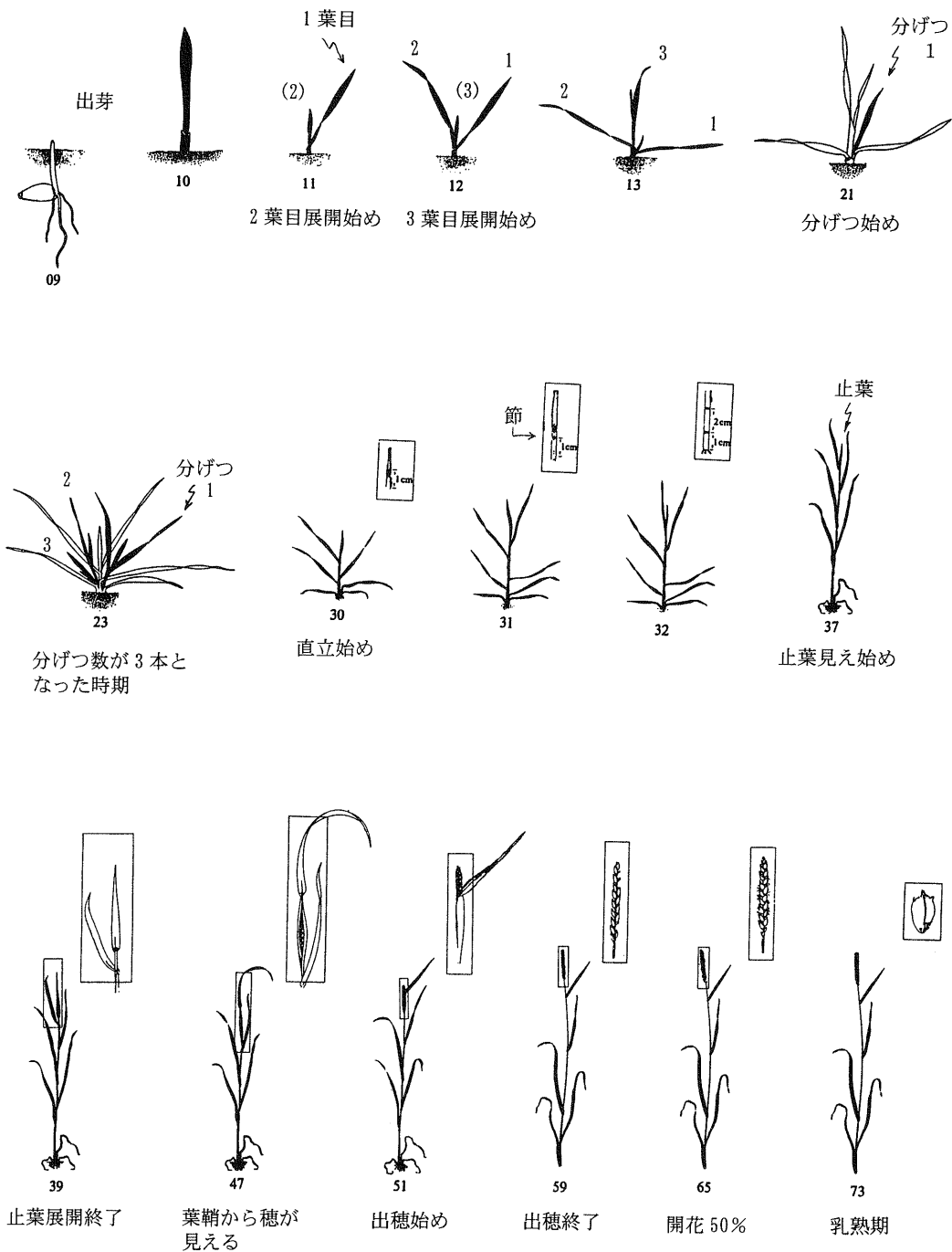


Agropyron repens(L.) P. Beauv.



穀類への応用例

出展：Compendium of Growth Stage Identification Keys for Mono- and Dicotyledonous Plants(1997)



改良BBCHスケール (一般)

0: 発芽・萌芽・出芽期

Code	双子葉植物 (D)	単子葉植物 (M)	イネ科植物 (G)	多年生植物 (P, V)
00	乾燥種子 (種子処理はこの時期に行う)			冬眠 or 休眠期
01	種子吸水開始			芽の膨張開始
03	種子吸水完了			芽の膨張完了
05	種子 (穎果) から根の出現			永続器官からの根形成
06	発根および根の伸長			—
07	発芽 (子葉を含む胚軸, 子葉鞘または芽の種子 (穎果) 打破)			萌芽開始
08	子葉を含む胚軸, 子葉鞘または芽の地表への成長			芽の地表への生長
09	出芽 (地表から芽が出ること, Vを含む)			芽の先端の緑色化 (P)

1: 葉の展開期 (主茎)

10	子葉の展開完了	第1本葉出現	第1葉出現
11~18	第1~8葉・対生葉・輪生葉の展開		第1~8葉展開
19	>第9本葉・対生葉・輪生葉の展開		第8葉展開

2: 側枝または分げつ形成期

21~28	第1~8側枝出現	第1~8分げつが現れる	第1~8側枝出現
29	>第9側枝出現	>第9分げつが現れる	>第9側枝出現

3: 茎葉伸長期 (またはロゼット等直径の拡大)

31~38	茎葉長またはロゼット等の直径が最終の10~80%, または第1~8節が確認可能		
39	茎葉長またはロゼット等の直径が最終の100%, または>第9節が確認可能		

4: 収穫する栄養生長または生殖生長部の生長期 (果樹など木本類は該当しない)

40	収穫する栄養生長または生殖生長部の生長開始	40: 栄養繁殖器官形成始
41	—	止葉の伸長開始
43	収穫部が最終サイズの30%に達する	穂ばらみ開始
45	収穫部が最終サイズの50%に達する	穂ばらみ期
47	収穫部が最終サイズの70%に達する	止葉の展開開始
49	収穫部が最終サイズになる	第1包が見える

●子株出芽: 41~48=第1~8番目, 49=第9以上
●地下部サイズ: 41~48=最終サイズの該当%, 49=最終サイズ

5: 出穂・花芽形成期 (主茎)

51	花芽が見える	出穂開始	花芽が見える
55	第1小花が見える (未開花)	50%出穂	第1小花が見える
59	第1小花の花弁が見える	100%出穂	第1小花の花弁が見える

6: 開花形成 (主茎)

60	第1花開花		
61~65	10~50%が開花		
67	開花終了: ほとんどの花弁が落下または乾燥		
69	開花終了: 第1果実が見える		

7: 果実発達期

71	全果実の10%が最終サイズ, 果実サイズが10%	水熟	双子葉・単子葉と同じ
73	全果実の30%が最終サイズ, 果実サイズが30%	乳熟早期	双子葉・単子葉と同じ
75	全果実の50%が最終サイズ, 果実サイズが50%	乳熟中期	双子葉・単子葉と同じ
77	全果実の70%が最終サイズ, 果実サイズが70%	乳熟後期	双子葉・単子葉と同じ
79	ほとんどの果実が最終サイズ	—	双子葉・単子葉と同じ

8: 登熟期

81	成熟・着色開始		
85	更に成熟・着色が進む	更に成熟・着色が進む	更に成熟・着色が進む
87	果実の軟化 (多肉果の種)	糊熟期	
89	完熟: 果実が十分に色付き, 果実の脱離 (落下) が始まる		

9: 枯死 (枯凋)・休眠期

91	—	—	地上部発育完了
93	葉色が変わり, 落葉し始める		
95	50%の葉が退色・落葉		
97	落葉終了, 地上部植物体が枯死または休眠		休止または休眠
99	収穫物 (ポストハーベストの各処理はこの次期に行う)		

Hack et al. (1992)を一部改定

□ 留意点

- 1桁の番号が抜けているところも, 当てはめることができれば記載してもよい。
- 互生は1枚ずつ, 対生は1ペアずつ, 輪生は節ごとで数える。葉齢をさらに詳細に分けたい場合は, 例えば12.5 (2.5葉期) と記載してもよい。