

# Excelを用いたイデオグラム描画プログラムの開発

高橋ちぐさ\*<sup>1</sup>, 岡野内 悟\*<sup>2</sup>

## The development of an idiogram drawing program as a teaching material by the use of Excel

Chigusa Takahashi\*<sup>1</sup>, Satoru Okanouchi\*<sup>2</sup>

キーワード：Microsoft Excel, 教材開発, 相同染色体, イデオグラム

Key words : Microsoft Excel, development of teaching material, homologous chromosomes, idiogram

### I はじめに

ある生物種が、どのような染色体構成であるかを調べる場合や、近縁・遠縁の種と比較する場合、染色体の数、長さ、動原体の位置、付随体および二次狭窄の有無・数・位置等の核型分析を行う。核型の比較研究には、イデオグラム (Navashin, 1921) がよく用いられる。イデオグラムは、分裂期中期の染色体の染色体長、動原体の位置、付随体、二次狭窄の位置等を模式的に線または棒形で表したもので、単純化することにより、長さや形に焦点が絞れて、核型の比較・検討が容易になる。

私たちは、体細胞核の  $2n$  の染色体組は、父方、母方それぞれから由来した  $n$  個ずつの染色体によって構成されているという事実の理解を図るという視点で教材研究をおこなっており、これまでに、F1雑種個体を利用して、染色体構成から親個体の染色体を判別する教材 (高橋・岡本, 2003) や、DNA染め分けによって両親の染色体を識別する教材 (高橋, 2003) 等の開発を試みてきた。

核型分析に関する教材研究は、これまでにいくつか報告されている (広田, 1973; 藤島, 1977; 飯塚, 1990) が、いずれも従来の核型分析方法すなわち写真から切り抜いた染色体を紙の上で並べる方法をとっていて、コンピュータを利用したものや、イデオグラムを作図させた報告はまだ無い。

本研究では、パーソナルコンピュータで広く使われている表計算ソフトMicrosoft Excelを使って、イデオグラム作成により核型の理解を図る教材の開発をおこなった。作業過程を通して、該当種の染色体数や、染色体長、染色体組を構成する染色体の長さ・形の変異の仕方等、核型分析がおこなえることは言うまで

---

\*<sup>1</sup>鳥取大学教育地域科学部学校教育課程教科教育講座

\*<sup>2</sup>大島商船高等専門学校電子機械工学科

もないが、特に相同染色体の理解を図る上で役立つプログラムを開発するという視点で臨んだ。

## II プログラムの概要

### 1 染色体について

#### (1) 体細胞分裂中期染色体の各部分の名称

体細胞分裂中期染色体は動原体（一次狭窄）と呼ばれるくびれの部分で短腕と長腕とに分けられる。腕の端部付近にさらにくびれが存在する場合があります、これらは総じて二次狭窄と呼ばれるが、このうち形成能を持つものは端部付近に位置することが多く、これより末端の染色体部分を付随体と呼ぶ。

#### (2) 動原体の位置による体細胞分裂中期染色体の分類

染色体を識別する時に、長さの要素とともに、形が重要なマーカーとなる。染色体の形の分類基準および名称は、Levanら（1964）に従った。以下に分類・名称を示す。

| 腕比（長腕長/短腕長） | 染色体の型           |
|-------------|-----------------|
| 1.0 ~ 1.7   | 中部動原体型染色体 (m)   |
| 1.7 ~ 3.0   | 次中部動原体型染色体 (sm) |
| 3.0 ~ 7.0   | 次端部動原体型染色体 (st) |
| 7.0 ~       | 端部動原体型染色体 (t)   |

### 2 プログラム開発の基本方針

本プログラムは、高校生、大学生を対象に、染色体や核型の理解を図る教材として提供することを目的としたものである。イデオグラム作成過程を通して、核型の理解、中でも相同染色体の理解を深めることができるようにするためには、イデオグラム完成に至るまでのステップを大切にする。すなわち、 $2n$ の染色体組を $n$ 組の相同染色体対に正しく分けるプロセスでは、一度長さの順に自動的に並べた染色体組を、使用者が、染色体の形も考慮して、染色体並び順の入れ替え、染色体番号の書き替えを何度でも繰り返しおこなえるようにして、作業過程を通して生徒や学生の相同染色体に対する理解を支援するプログラムを作成する。

一般に、核型分析ならびにイデオグラム作成を手作業でおこなう場合、以下の手順を経る。

- ① 顕微鏡写真の、一つの細胞核に含まれる全染色体を切り抜く。
- ② 切り抜いた染色体間で長さ・形（腕比）を比較しながら、ピンセット等を使って組み合わせを替えてみながら2個ずつ相同染色体を見つけていき、最終的に、長いペアから順に並べる。
- ③ 染色体を並べる作業と並行して、腕長（短腕長、長腕長）を計測する。  
測定値から実長、腕比等、核型分析に必要な数値を算出し、染色体の特徴を数値化し、表にデータを保存する。
- ④ 染色体長と動原体の位置を示す数値に基づいて、相同染色体どうしが対をなすように表の染色体順を並べ替えるとともに、表から、染色体の長さおよび形を単純化したイデオグラムを作成する。  
本プログラムでは、①および②の過程を省略できるようにする。すなわち、染色体の入れ替え、並び替えをコンピュータ上のイデオグラムを使って自在に行えるようにプログラムを設計する。③以

下においても、染色体長の計測以外は、すべてコンピュータ上でおこなう。プログラム作成においては、できる限り自動化を図り、ユーザーの負担を少なくするとともに、計算や並べ替え等の作業を迅速かつ能率的におこなえるようにする。これまで、手書きあるいはイラストレーター等の作図ソフトを使って描いていたイデオグラムも、数値データから自動的に描画させる。

また、本プログラムはMicrosoft ExcelのVBAを使ってExcelのマクロとして作成する。VBAはVisual Basic Programming System Application Editionの略で、Excelのマクロプログラムを記述するための言語であるが、WordやAccessなど他のアプリケーションを起動することも容易で、Windows用の開発環境として人気の高いVisual Basicとの関連も深く、拡張性も高い。ExcelのVBAを使うと、以下の利点がある。

- ① もとになる染色体のデータはExcelの表に入力されるため、Excel以外のアプリケーションプログラムを必要とせず、入力したデータをそのまま扱える。すなわちExcelが使えるパソコンであれば、インストールなどの手間もなくこのプログラムを使うことができる。
- ② Excel上の表データの変更が、そのまま反映できる。すなわち、Excelシートでのデータの並べ替えや入力数値の変更などが、そのままイデオグラムの描画に反映できる。
- ③ イデオグラムの編集や印刷のレイアウトの変更が容易に行える。さらに、表示されたイデオグラムの色や表示位置を変えたり、タイトルをつけたり、文字の大きさや字体を変えるとといった操作が、Excelの機能を使っておこなえるので、用途に合わせて使用者自身で容易に変更可能である。一方で、VBAマクロの編集は、知識を持った者は誰でも容易に行うことができるため、悪意を持つユーザがいわゆるマクロウイルスを忍ばせることも可能である。そのため、本プログラムの起動や配布の際には、この点について注意を要する。

### 3 シートの構成とマクロの機能

イデオグラム作成に使われるシートは、データ入力・計算・並び替えをおこなう数値データシートとイデオグラム表示シートの2枚である。数値データシートの表データに従い、イデオグラム表示シートに染色体模式図であるイデオグラムが表示される。

#### (1) 数値データシートの働き

本シートは、扱った生物種名・採集場所・染色体数・焼き付け倍率記入部分、機能ボタンおよび表から構成される。

##### 1) 数値データシートの表

数値データシートの表は、以下の項目・機能を持つ。

A列「染色体対番号」； 相同染色体対番号で、 $2n$ の染色体数に対して $n$ 対の番号が表示される。

B列「仮番号」； 染色体の長さ計測作業時の便宜上付けた仮の染色体番号。

C列「染色体番号・以前」； 「染色体の現在番号」を書き替えた場合、直前の状態の染色体番号を表示する。変更部分の確認ができるので便利であるし、前の状態に戻したい時にも有効である。並び替えのたびに自動的に更新する。

D列「染色体番号・現在番号」； 使用者が必要に応じて番号を書き替えることができる。最終的な染色体番号としてイデオグラム描画に用いられる。

E, F, G, H列「計測長」； 付随体長、短腕長、長腕長、全長。付随体長、短腕長、長腕長の

入力により、全長が自動計算される。

I, J, K列「実長」； 計測長と拡大倍率から短腕長（付随体部も含む）、長腕長、全長の実長が自動的に算出される。自動計算の計算回数は、セルC4に入力した染色体数の数値と連動させてあり、染色体数だけ繰り返される。最大値は、教材に用いられる生物種の染色体数を考慮し、必要十分と考えられる64に設定している。実長の計算式にはセルC5の焼き付け倍率の値が組み込まれる。

L列「腕比」； 長腕と短腕の長さの比率を示す数値（長腕長÷短腕長）。長腕長、短腕長から自動的に計算される。

M列「タイプ」； 動原体の位置による染色体の型。「腕比」に基づいてユーザーが入力する。

## 2) 数値データシートのマクロ

数値データシートのボタンを左クリックすることで、次のVBAマクロプログラムを実行できる。

「実長計算」； 計測長と焼き付け倍率から、染色体の実長を自動計算する。

「仮番号順」； シートを仮番号昇順に並べ替える。この機能は、並べ替え作業をおこなう前の初期状態に戻したい時にも使える。

「全長の長い順」； 染色体を全長降順に並べ替える。

「染色体番号順」； 染色体番号（現在）昇順に並べ替える。

「もどる」； 「全長の長い順」や「染色体番号順」に並べ替えたシートを、直前の状態にもどす。番号を付け違えても、マクロで並び替える直前の並びにもどせる。

「表示確認」； 既に描画されているイデオグラム画面を表示する。

「サンプル表示」； イデオグラム描画を行う。

## (2) イデオグラム表示シート

### 1) 染色体模式図の描画

数値データシートで選択した「染色体番号」のイデオグラムは、このイデオグラム表示シートに、1行目の左から「染色体番号順」に描画される。対を成す染色体2本が同じセルに入るように描画するので、染色体番号の連続する奇数番と偶数番の染色体が同じセルに描かれることになる。描画した染色体対の直下のセルには、対番号を示す数字が自動的に付記される。

### 2) イデオグラム表示シートのマクロ

イデオグラム表示シートのボタンを左クリックすることで、次のVBAマクロプログラムを実行できる。

「表示クリア」； 描画した染色体の図をすべて消す。

## 4 イデオグラム作成作業の流れ

イデオグラム作成作業の流れは次のとおりである。

- ① 細胞核内の全染色体が写っている顕微鏡写真を準備。各染色体の腕長の測定。
- ② プログラムの起動。
- ③ 染色体数および染色体拡大倍率の入力。
- ④ 染色体の短腕長、付随体長および長腕長（mm）の入力。

- ⑤ 染色体の実長を計算（「実長計算」マクロ実行）。
- ⑥ 染色体に番号を付ける（「全長の長い順」マクロ実行）。
- ⑦ イデオグラム描画（「サンプル表示」マクロ実行）。
- ⑧ 相同染色体対の検討（「表示確認」マクロ実行）。
- ⑨ 染色体番号の付け替え。
- ⑩ 染色体の並び替え（「染色体番号順」マクロ実行）。
- ⑪ イデオグラム描画（「サンプル表示」マクロ実行）。
- ・・・必要により⑧から⑪を繰り返す・・・
- ⑫ 染色体のタイプ等を入力して数値データ表を完成。必要により印刷。
- ⑬ 必要によりイデオグラム表示シートを編集，印刷。

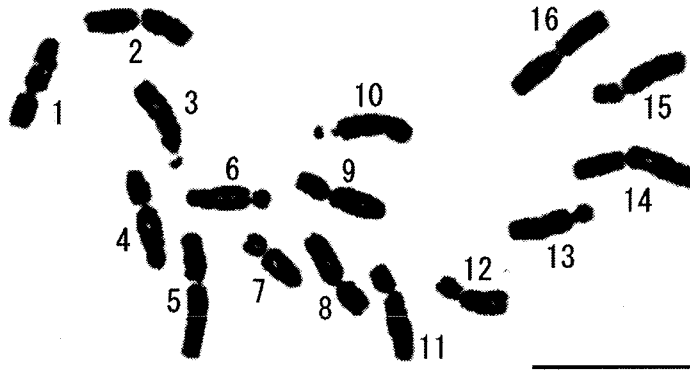


図1 キツネノボタン体細胞分裂中期染色体像。各染色体に仮番号を付記してある。スケールは $10\mu\text{m}$ （藤島1988より）

### III 実行例

作業実行例を以下に示す。染色体写真には，キツネノボタン（ $2n=16$ ）の体細胞分裂中期染色体組を用いた。図1に，顕微鏡写真像を示す。写真中の数字は，各染色体に付けた「仮番号」である。バーは $10\mu\text{m}$ を示す。

#### (1) 数値入力，計算，イデオグラム描画

- ① 数値データシート（図2）へ，染色体数（C4セル；黄色）と染色体拡大倍率（焼き付け倍率）（C5セル；黄色）をそれぞれ入力する。
- ② 「仮番号」順に，各染色体について，「付随体」，「短腕」，「長腕」の計測長(mm)を，E列，F列，G列（黄色）へそれぞれ入力する。
- ③ 計測長の入力に伴い，染色体の「全長」(H列；オレンジ色)が逐次，自動計算される。
- ④ すべての計測値の入力が終了したら，「実長計算」マクロボタンをクリックする。すると，染色体の実際の長さ（ $\mu\text{m}$ ）が自動計算・表示される（I, J, K列；ピンク色）（図3）。

- ⑤ 「全長の長い順」ボタンをクリックし、染色体の長い順にソートする。この際、「染色体番号・現在」セル（D列；緑色）に昇順に番号が自動入力される。この操作で、これまで仮番号で扱われていた個々の染色体に「染色体番号」が冠される（図4）。
  - ⑥ 描画したい染色体を選択する。すなわち、「染色体番号・現在」セルを選択し、「サンプル表示」ボタンをクリックする。染色体番号は、一度に1つでも、まとまった複数範囲でも選択可能である。
  - ⑦ イデオグラム描画：「サンプル表示」ボタンをクリックすると、「希望の染色体番号を選んでありますか」と尋ねるダイアログボックスが現れる。はい(Y)を選択すると、イデオグラム描画面面が変わる。まず、描画対象の染色体が緑色で表示された後、ダイアログボックスが現れて、「この染色体でよろしいですか」と尋ねる。はい(Y)を選択すると、描画された染色体は緑色から赤色表示に変わり、描画が完了したことを示す。複数の染色体についてイデオグラム描画をおこなう場合には、選択した染色体の数だけ連続して操作が繰り返され、イデオグラム描画が進行する。描画中の染色体は、すでに確定した他の染色体（赤色）と区別できるように、緑色で表示される（図5）。
  - ⑧ イデオグラム描画が終了したら、現在位置が描画面面であればそのまま、数値データシートであれば「表示確認」ボタンでイデオグラム描画面面を表示し、描画結果を観察し、すべての染色体対が、正しく相同染色体どうしで構成されているかどうかを検討する。染色体組の中に、長さではあまり差が無いが形が異なる染色体、すなわち腕比が異なる染色体がある場合、染色体長だけに基づいて自動的に並べると、腕比の異なる2個の染色体が相同染色体として組み合わせられてしまうことがある。そこで、イデオグラム表示をよく見て、染色体の入れ替えが必要かどうか、また必要であるとしたらそれはどの染色体かを判断する。
  - ⑨ 染色体並び順の入れ替えが必要な場合は、数値データシートへ戻り、入れ替えが必要な染色体について「染色体番号・現在」セルの数値を書き替える。この番号はイデオグラム描画時の染色体番号に対応させてあるので、データシートの数値の書き替えをおこなうことで、イデオグラム描画位置も入れ替わるしくみになっている。実行例の場合は、第3対目（5，6番目）の染色体と4対目（7，8番目）の染色体が、長さデータだけでは相同染色体どうしが正しく対をなさないので、5，6，7番の染色体番号を入れ替えた。
  - ⑩ 「染色体番号順」ボタンをクリックし、「染色体番号・現在」を昇順に並べ替える。実行例の場合、「全長の長い順」で5，6，7番の染色体番号を付け替えたが、数値データシートの「染色体番号・以前」の項の並び順で確認できる（図7，C・D列参照）。
- ⑦～⑩を繰り返して、イデオグラムを完成する（図6）。

## (2) 出力

イデオグラム（図6）、数値データシート（図7）ともに、必要に応じてプリンタ出力する。



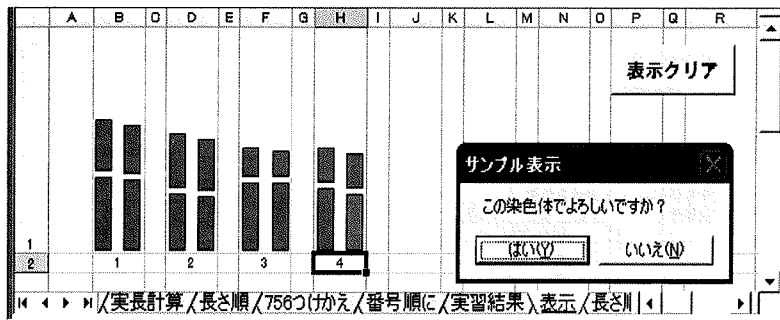


図5 イデオグラム描画中の表示シート画面例。描き終わった染色体は赤で、現在描画中の染色体は緑で表示される。

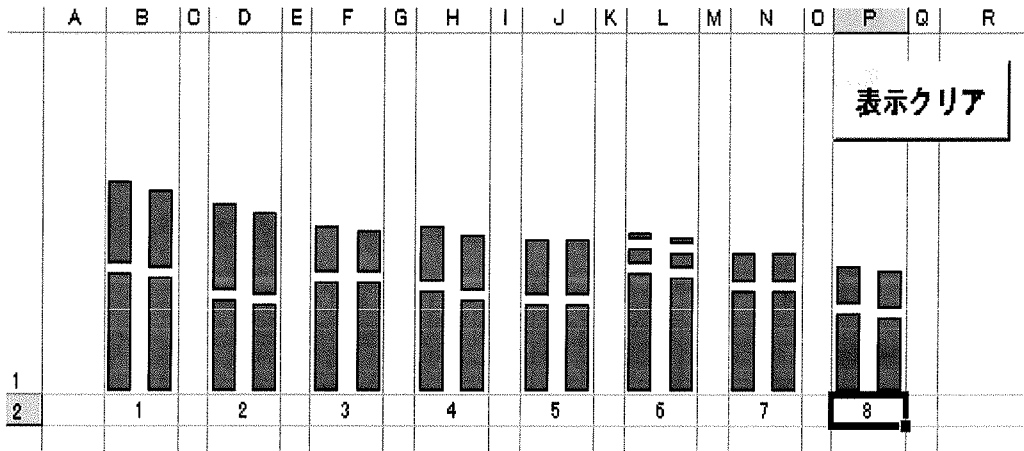


図6 完成したイデオグラム（染色体数 2n=16）画面例。

|    |              |     |       |         |        |      |        |     |
|----|--------------|-----|-------|---------|--------|------|--------|-----|
| 2  | 種名: キツネノボタン  |     |       |         | もどる    |      | 表示確認   |     |
| 3  | 採集場所: 松山市    |     |       |         |        |      |        |     |
| 4  | 染色体数2n: 16   |     |       |         |        |      |        |     |
| 5  | 焼き付け倍率: 3500 |     | 実長計算  |         | 仮番号順   |      | 全長の長い順 |     |
| 6  |              |     |       |         |        |      | 染色体番号順 |     |
| 7  | Matsuyama    |     |       |         |        |      | サンプル表示 |     |
| 8  | 染色体          | 仮番号 | 染色体番号 | 計測長(mm) | 実長(μm) |      |        |     |
| 9  | 対番号          |     | 以前 現在 | 付随体     | 短腕     | 長腕   | 全長     | 短腕  |
| 10 | 1            | 14  | 1 1   |         | 9.0    | 13.0 | 22.0   | 2.6 |
| 11 |              | 5   | 2 2   |         | 8.5    | 12.5 | 21.0   | 2.4 |
| 12 | 2            | 16  | 3 3   |         | 9.5    | 10.0 | 19.5   | 2.7 |
| 13 |              | 2   | 4 4   |         | 9.0    | 9.5  | 18.5   | 2.6 |
| 14 | 3            | 15  | 6 5   |         | 5.0    | 12.0 | 17.0   | 1.4 |
| 15 |              | 11  | 7 6   |         | 4.5    | 12.0 | 16.5   | 1.3 |
| 16 | 4            | 4   | 5 7   |         | 6.0    | 11.0 | 17.0   | 1.7 |
| 17 |              | 9   | 8 8   |         | 6.0    | 10.0 | 16.0   | 1.7 |
| 18 | 5            | 1   | 9 9   |         | 6.0    | 9.5  | 15.5   | 1.7 |
| 19 |              | 8   | 10 10 |         | 6.0    | 9.5  | 15.5   | 1.7 |
| 20 | 6            | 10  | 11 11 | 0.5     | 1.5    | 13.0 | 15.0   | 0.6 |
| 21 |              | 3   | 12 12 | 0.5     | 1.5    | 12.5 | 14.5   | 0.6 |
| 22 | 7            | 6   | 13 13 |         | 3.0    | 11.0 | 14.0   | 0.9 |
| 23 |              | 13  | 14 14 |         | 3.0    | 11.0 | 14.0   | 0.9 |
| 24 | 8            | 12  | 15 15 |         | 4.0    | 8.5  | 12.5   | 1.1 |
| 25 |              | 7   | 16 16 |         | 4.0    | 8.0  | 12.0   | 1.1 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 2.3 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 3.4 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 2.0 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 6.9 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 1.4 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 1.5 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 1.1 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 1.1 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 2.4 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 2.7 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 1.8 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 1.7 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 1.6 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 1.6 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 6.5 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 6.3 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 3.7 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 3.7 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 2.1 |
|    |              |     |       |         |        |      |        | 2.0 |

図7 作業が完了した数値データシート画面例。



#### IV おわりに

これまで、核型分析作業とコンピュータとの関わりは、Excelを利用して、今回作成した数値データシートの表にあたる部分のデータ処理を容易にするという程度であった。核型分析時のイデオグラム作成は、時間と労力を要する作業であるため、コンピュータ上でイデオグラムが作図できる教材開発が実現したことで、生徒・学生が、手軽にイデオグラム作成作業をおこなえるようになった。

一般に、生物の染色体組は、両親から半数 ( $n$ ) ずつ由来した染色体により構成されているため  $n$  組の相同染色体からなっているということを、作業を通じて視覚的にはっきりととらえさせたいと考え、これを支援するプログラム作成を念頭においた。よって、プログラムは、正しく相同染色体が組み合わせられるまで、何度でも、容易に染色体の並び順の入れ替え・イデオグラム作図ができるものを目論んだ。本プログラムは、データ表から通り一遍にイデオグラムを作図するというのではなく、選択した任意の染色体が描ける機能や、一度作図した結果を検討し、一部の染色体並び順を入れ替えた改訂版が容易に作図できる機能などを持ち、目的を十分満たすものが開発できたと考える。

日常的に核型を専門に扱う研究者は別として、染色体について学習の浅い生徒・学生の場合は、データシートの数値を見ただけで、相同染色体対を正しく組み合わせることは難しい。そこで、本プログラムの持つ“イデオグラム表示を見て染色体対を検討し、データシートで染色体対の組み替えをおこなう”というこれまでに例を見ない機能には、特に、学習時の実施効果が期待される。

今後は、基本方針はこのままに、写真に焼き付けした染色体を計測するというプロセスを、コンピュータ画面上で、画像として処理する方法で、核型分析プログラム作成をおこなう予定である。

#### 附記

本ソフトを、希望される方に配布いたします。使用を希望される方は、筆者までご連絡下さい。

#### 参考文献

- 藤島弘純 (1977). ヌマムラサキツユクサの体細胞分裂と減数分裂. 教材生物ニュース 27: 379-383.
- Fujishima H (1988). Cytogenetical studies on the karyotype differentiation in *Ranunculus silerifolius* Leveille. Jour. Fac. Educ. Tottori Univ., Nat. Sci. 37: 33-90.
- 広田耕三 (1973). 体細胞分裂の観察—中期染色体の観察から相同染色体の確認まで— 科学の実験 24 (7): 81-84.
- 飯塚光司 (1990). 両生類の核型分析と教材化 (1) —消化管の上皮細胞からの体細胞分裂中期像—. 生物教育30: 154-163.
- Levan A, Fredga K, Sandberg AA (1964). Nomenclature for centromeric position on chromosomes. Hereditas 52: 201-220.
- Navashin S. (1921). Resum der Einwände auf den Bericht von L. N. Delaunay. Zurn. Russk. Bot. Obsc. 6.
- 高橋ちぐさ (2003). *in situ*ハイブリダイゼーション実験の生物教育への利用—親から子へのゲノムの伝

達を視覚的に理解させる教材の開発一．鳥取大学教育地域科学部紀要（教育・人文科学）4(2)：325-332.

高橋ちぐさ，岡本好子（2003）．*Ranunculus silerifolius* Lev. キツネノボタン のF1雑種作出と教材化．鳥取大学教育地域科学部紀要（教育・人文科学）4(2)：315-323.

田中亨，木下裕人（2000）．Excel 2000 VBAの魔術師．オーム社．

山賀弘（2002）．Excel 2002 VBAマゲナム辞典．技術評論社．