

# 中学校理科「生物の成長と殖え方」単元における細胞分裂の 観察・実験を授業で実施するための課題とその改善に関する研究

Studies on the Improvement of Observation and Experiments  
for Cell Division in Science Class of How Life beings Grow  
in Lower Secondary School

西野 秀昭

山城 慶太

Hideaki NISHINO

Keita YAMASHIRO

福岡教育大学・

福岡教育大学

理科教育ユニット・生物教室 (現 琉球大学・教職大学院・院生)

(令和元年9月30日受付, 令和元年12月12日受理)

## 要 約

中学校理科「生物の成長と殖え方」単元における細胞分裂の観察・実験は、生き物の体が大きくなるのは、細胞一つ一つが大きくなるのか、細胞の数が増えるのか、又はその両方なのか、観察・実験を通じて根拠をもって理解を深めるために実施される。しかし、この観察・実験は、教科書通りの生物教材（球根タマネギ）や手法によると細胞分裂の観察が困難な、即ち「高度学校再現性」が極めて低い（又は「実施困難度」が $\infty$ ）「難教材」とされている。そこで別の生物教材（葉ネギ）や染色液・固定解離染色方法などが提案され、学校での再現性が確認されているが、学校での1時限目から6時限目までの時間帯での細胞分裂の頻度に差があるのか検討がなされていない。そこで、学校の1時限目から6時限目に相当する時間帯での細胞分裂頻度を、標準偏差まで測定したところ、時間帯による大きな差は観察することができなかった。このことから、葉ネギを用いる実験条件では、教科書の観察・実験における球根タマネギのように特定の時間帯に限ることも無いことから、高度学校再現性が実現できる生物教材及び染色液・固定解離染色方法であることが確かめられた。

キーワード：体細胞分裂, 観察・実験, 高度学校再現性, 実施困難度, 葉ネギ

## 1 目的

中学校理科第3学年「生命の連続性」単元「生物の成長と殖え方」では、生物が成長する際に細胞が大きくなるのか、細胞数が増えるのか、又はその両者なのか判断する根拠を得るために、盛んに伸長している植物の根端を染色して顕微鏡観察する実験を取り扱っている。この観察・実験は、根端での体細胞分裂の様子を観察する事になるが、観察・実験などに関する技能や観察・実験の結果を分析し解釈することを身に付けさせる上で、また、体細胞分裂の順序性を見出させる上で重要な役割を果たしている（文部科学省, 2018）。

しかし、「生物の成長と殖え方」の観察・実験の授業での実施状況に関する中学校理科教師へのアンケート調査によれば、教科書によく記載されている球根タマネギの発根を用いた細胞分裂の観察・実験では、球根タマネギの発根した根端で細胞分裂像を観察できている教師はほとんどいないのが現状である（課題1とする）（西野, 2013）。また、この観察・実験には根の準備から時間がかかること（課題2）、分裂期の根の必要数の確保が難しいこと（課題3）、教科書記載の酢酸カーミンや酢酸オルセインでは核の染色が不十分で観察しづらいこと（課題4）、といった授業で実施す

る上での課題が挙げられている（西野・前田・前田，2011）。即ち，学校の理科授業での観察・実験で結果が得られ難いという意味で「高度学校再現性」がかなり低い（別の指標では，「実施困難度」が $+\infty$ ）（西野，2015）。さらに，球根タマネギの発根を使用する際の留意点として，『新版

理科の世界3教師用指導書上』には，球根タマネギの根の細胞を観察する場合は，「細胞分裂が盛んな午前10時頃に切りとって固定する」と記載されている（波田野，2016）。そのことから，細胞分裂の観察・実験に球根タマネギの発根を使うと，その結果が授業の時間帯によって左右されるとともに，午前10時頃以外で，授業で使うとすると教師などが予め固定処理をしておかなければならない事になる。教科書に記載されている体細胞分裂の観察・実験の「実施困難度」が $+\infty$ であることの改善策として，先行研究に，葉ネギの発根種子を用いた固定・解離・染色を一度に行う細胞分裂の観察・実験の方法がある（西野・前田・前田，2011）。その方法では，発根種子を数多く揃えることができる事に加え，課題1～課題4が改善されていることから，葉ネギを使う方法が推奨される。しかし，教科書に記載されている球根タマネギの根では体細胞分裂の観察・実験に適した時間帯が午前10時頃と限定的であることに対して，先行研究で使用する葉ネギの発根種子では体細胞分裂が盛んな時間帯の詳細な情報が記されていない。そこで本研究では，先行研究で利用している葉ネギの発根種子での実験条件で，体細胞分裂が盛んな時間帯を詳細に調べることで，学校の授業で葉ネギの発根種子を使い，1時間目から6時間目までの間の体細胞分裂を観察できる時間帯を確認することを目的とした。

## 2 方法

**【材料】** 先行研究同様に，トーホクのたね 万能小ねぎスレンダー（株式会社トーホク 品種番号02214-B）〔税込220円（平成30年度時点）〕という葉ネギの種子を用いた（図1）。

**【実験方法】** 本研究では，以下の方法で葉ネギ種子を発根させ，プレパラートを作成する。授業の参考になるよう詳細に記す。

### (1) 種子の発根処理

①キムワイプ（又はティッシュ）2枚を4つ折りにして，ペトリ皿など発根用の容器内に置く。本研究では，身の周りの物で代用できる場合は積極的に利用できるよう，ペトリ皿ではなく，3個一パッ



おもて

ウラ

図1 本研究で用いた葉ネギの種子

ホームセンターなどで，年間を通して安価に購入できる。写真の葉ネギ種子は有効期限は過ぎているが，冷蔵庫に保存することで発芽率は保たれている。

クで販売されている豆腐の空き容器を用いた。通常では廃棄される物を授業で活用することは，道徳科との関連を図る上で意義深いと考える。

②キムワイプ（又はティッシュ）を置いた発根用の容器の上にとろ紙（丸ろ紙など）を被せる。その際は，上から同じ大きさの発根用の容器を載せて押し込み，ろ紙を発根用の容器内側の形に合わせる。

③発根用の容器に水道水（以降，水）を加え，ろ紙を十分に湿らせる。その上に種子を置いて，霧吹きで水を上からかけるか，指の腹で種子を転がすようにして種皮全体が水で濡れている状態にする。本研究では，キムワイプ（又はティッシュ）とろ紙に，水を25 mLほど吸水させ，その上に葉ネギ種子を60個ほど置いた（図2，A）。

④アルミホイルを二重三重に折ったもので発根用の容器を覆い，これを空き箱（空気が通るタイプ）に入れ，室温（25℃ほど）で発根させた（図2，B）。発根には空気が必要なので密閉するのではなく空気が入るようにしておく必要がある。「生物の成長と殖え方」の単元は初夏～秋口に実施されるので，中学校の温度調節をしない室温でも温度条件は充分である。

### (2) プレパラートの作成

①0.5%酢酸ダーリア7 mLと3%塩酸3 mLを混合する（7:3の割合）。

②混ぜ合わせた溶液（染色液）をフィルムケース2個に分けて入れる（フィルムケースは密閉でき

A 吸水処理



B 発根した種子

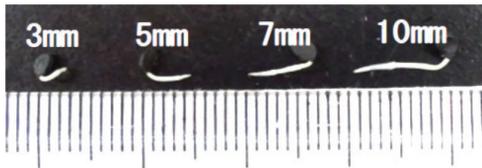
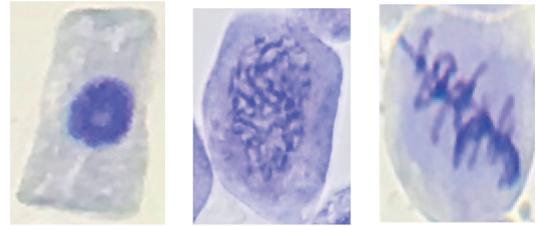


図2 葉ネギの吸水処理と発根

Aのように傾けると水が出てくるくらいの水を加える。  
Bは発根が曲がっている場合もあるので長さが測れるもののみを示した。

る容器として使用したので、密閉できて、以下の保温ができれば他の容器でも可。

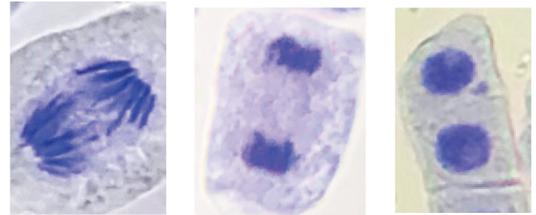
- ③ 200 mL ビーカーに、水を 100 mL ほどと電気ポットのお湯 (90℃) を 100 mL ほどを入れると、45℃ ほどのお湯が準備できる (温度計で 45℃ ほどを確認すると実験条件の確認になり更に良い)。
- ④ 45℃ ほどのお湯が入った 200 mL ビーカーに、先の染色液が入ったフィルムケースを 2 ついれて事前に保温する。
- ⑤ 3 分間ほど経ったら 200 mL ビーカーからフィルムケースを取り出し、その中に発根種子を 3 粒ほど以上入れる。発根種子はその種皮をピンセットで掴むようにする。
- ⑥ 発根種子の入ったフィルムケースを 200 mL ビーカーに戻して 5 分間保温する。
- ⑦ フィルムケース内の発根種子を、染色液ごとラップを敷いたペトリ皿に取り出す。
- ⑧ 水を入れた 100 mL ビーカーなどに、根の先端が染色された発根種子をいれて軽く混ぜ、2 分間ほど入れておく (根の洗い。ここの 2 分間は省くこともできる)。
- ⑨ 水での洗浄を終えた発根種子を、ピンセットで種皮をつまんでスライドガラスの上に置き、余分な水分をコヨリ状にしたキムワイプ (又はティッシュ) などで吸い取る。スライドガラス 1 枚で 3 個の発根種子根端の観察が可能である。
- ⑩ 根の先端 1 mm 程度以下を、柄付き針やピン



A 間期

B 前期

C 中期



D 後期

E 終期(基準①)

F 終期(基準②)

図3 葉ネギ体細胞分裂の直前・前期・中期・後期・終期

本研究で用いた実験条件によって得られた画像。E と F は、本文にあるように、終期の基準が書籍で異なるため、二つの基準①及び②を定めて体細胞分裂の頻度を求めた。

セットの先端を使って押し切り取り、その他の部分はピンセット等を用いて取り除く (先端以外で染色液に染まっている部分は、根の先端との比較で細胞が長くなって核が凝縮している観察にも使える)。

- ⑪ 切り取った根端に、滴下瓶の 50% グリセリンを 1 滴落とす (50% グリセリンの容器は必ずしも滴下瓶である必要は無い)。50% グリセリンは、冷凍庫に保存すれば数年間は使える。
- ⑫ カバーガラスを気泡が入らないように傾けながら根端にかぶせる。
- ⑬ カバーガラスを上から親指の腹で押し、根端を潰して細胞の重なりを少なくし、細胞を単層にする。細胞が単層に広がっていない場合は、柄付き針の柄側の丸い部分を使い、「の」の字を書くようにカバーガラスの上からたたくと、細胞をより単層に広げることができる。

#### 体細胞分裂各期の細胞のカウント方法

- ① プレパラート作成後、顕微鏡で観察する。最初は低倍率で体細胞分裂前期の細胞が多くある部分を探し、同じ箇所まで倍率を上げて行く。図 3 では最終的に倍率を 400 倍にして、ピントを合わせた像を示している。
- ② 顕微鏡視野内の目印となる細胞 (図 4 の赤印) を決め、その目印が上下左右の端に写るようにプレパラートを移動して顕微鏡視野内を市販のデジタルカメラで、接眼レンズから覗くように撮影する。

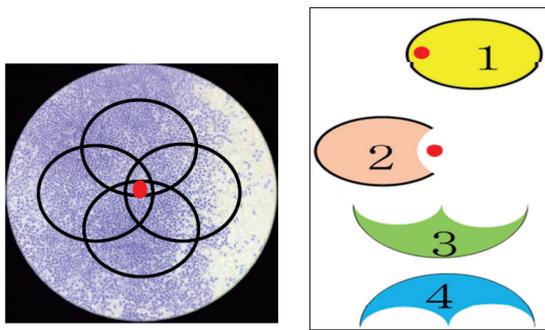


図4 体細胞分裂各期の細胞のカウント方法

左：倍率100倍の顕微鏡写真を拡大印刷し、基準になる細胞を決める（ここでは便宜的に赤で表示している）。右：1～4の各領域で体細胞分裂期の細胞をカウントし、合計する。

③画像で染色の薄いプレパラートは、明るさと色の濃度を調整し、印刷する。

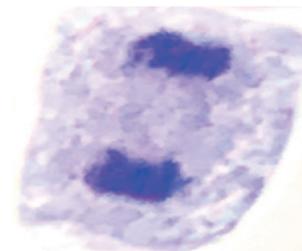
④目印の細胞を中心とした上下左右の4枚の顕微鏡視野内の写真の細胞を、各印刷の重複の部分を除き、過不足なくカウントする（図4）。

⑤「(体細胞) 分裂頻度 (%) = 体細胞分裂期の細胞数 / 全体の細胞数」で計算し、顕微鏡視野内の全体の細胞に占める体細胞分裂期の細胞の割合を求める。

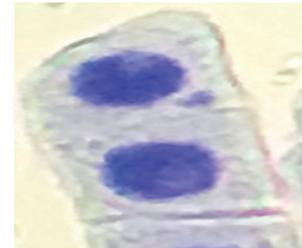
**吸水日数と根の長さの関係：**葉ネギとして用いた万能小ねぎの発根種子で、吸水開始から3日目と4日目の根の長さの経過を調べる。ここでは、根の長さを0 mm, 1～5 mm, 6～9 mm, 10～13 mm, 14～17 mm, 18 mm以上に分けた。発根の長さを測った発根種子は3日目と4日目で同じ発根種子容器のものである。

**吸水日数と根の長さ別の分裂頻度：**プレパラート作成後、吸水日数(3日目・4日目)と根の長さ(2～5 mm, 6～9 mm, 10～13 mm, 14～17 mm, 18～21 mm, 22～25 mm, 26～29 mm)別の(体細胞) 分裂頻度を測定する。測定数  $n \geq 10$  である。

**時間帯別の分裂頻度：**学校での1日の授業時間にあたる9時, 12時, 15時でプレパラートを作成し、分裂頻度を測定する。使用する葉ネギの万能小ねぎの発根種子は吸水開始から3日目(72時間経過)の根の長さが6～9 mmの発根種子を用いた。測定する根の個体数は9時, 12時, 15時で根の長さが6, 7, 8, 9 mmで、それぞれ測定数  $n \geq 10$  である。ここでは、葉ネギの万能小ねぎの発根種子で分裂期の細胞と間期の細胞の基準を設けるために、細胞周期の前後にあたる前期と終期の細胞の基準を決めることとした。前期の細胞は多くの書籍で「染色体の凝縮と核小体の消失」



A 基準①で終期とした細胞の画像



B 基準②で終期とした細胞の画像

図5 体細胞分裂「終期の細胞」の二つの判断基準

参考にした複数の書籍の記述を比較すると、終期の細胞の定義が異なっていたため、このように二つの基準を定めた。

について記載されていたことから「染色体が凝縮し、核小体が消失している細胞」を前期の細胞とした。終期の細胞は「細胞質分裂が開始する。細胞質を二分する細胞板が親細胞の周縁(細胞膜)に向かって成長する(池内・伊藤・箸本, 2015)」のように細胞板を中心に記載されていたり、「有糸分裂の終わりの時期で、核膜の再形成、染色体脱凝縮、核小体の再形成、微小管の消失などが始まる(村松, 2008)」のように染色体の脱凝縮等を中心に記載されていたりと書籍によって基準が異なっていた。そのため、学校で用いる顕微鏡でも観察できる細胞板と染色体の凝縮を中心に、基準①「ひも状の染色体が見え、細胞板により分離されていない細胞」(図5, A)と、基準②「ひも状の染色体が見えないが、細胞板により分離されていない細胞」(図5, B)の二つを基準とした。

### 3 結果と考察

**吸水日数と根の長さ：**葉ネギの万能小ねぎの発根種子では、吸水日数3日で6～9 mmの根の長さの発根種子が多く、吸水日数4日で18 mm以上の根の長さの発根種子が多かった(図6)。このことから、細胞分裂の観察・実験で根の長さが1 cm以下の発根種子を使う場合は、吸水日数を3日、根の長さが1 cm以上の発根種子を使う場合は、吸水日数を4日とすることが望ましいと考えられる。

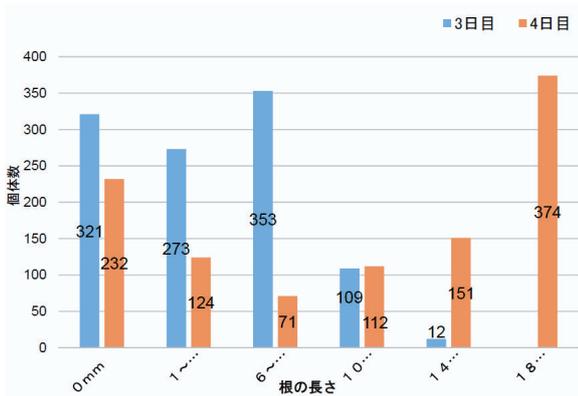


図6 吸水日数と根の長さ別の個体数

各棒グラフ中の数字は、それぞれの発根長の発根種子数を示している。

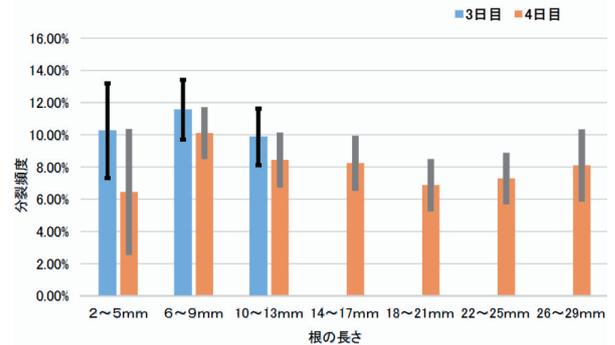


図7 吸水日数と根の長さ別の分裂頻度

各棒グラフは、それぞれの分裂頻度の平均値を、標準偏差とともに示している。縦軸は分裂頻度を表している。

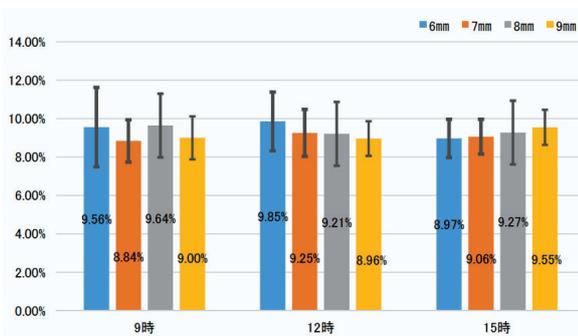


図8 時間帯別の分裂頻度

各棒グラフは、それぞれの分裂頻度の平均値を、標準偏差とともに示している。

吸水日数と根の長さ別の分裂頻度；終期の細胞の基準を①「ひも状の染色体が見え、細胞板により分離されていない細胞」として、葉ネギの万能小ねぎの発根種子で吸水日数と根の長さ別に分裂頻度を測定した。しかし特に大きな差は見られなかった(図7)ので、根の長さに神経質にならなくても良いと考えられた。また、終期の細胞の基準を②「ひも状の染色体が見えないが、細胞板により分離されていない細胞」とした場合でも、吸水日数と根の長さ別では分裂頻度に有意な差は見られなかった。このことから、細胞分裂の観察・実験で葉ねぎの万能小ねぎの発根種子を使う際は2~29 mmほどの長さの根でも細胞分裂の頻度の差を気にせず、体細胞分裂を観察することができると考えられる。

時間帯別の分裂頻度：終期の細胞の基準を①「ひも状の染色体が見え、細胞板により分離されていない細胞」として、葉ネギの万能小ねぎの発根種子で朝9時、12時、15時において分裂頻度を測

表1 理科教師を目指す大学生へのアンケート調査

- 観察までにかかった時間は？  
最短 25 分 最長 34 分 平均 29 分
- 観察できた体細胞分裂期の細胞の種類は？  
前期・中期・後期・終期のすべて…7名
- この実験方法を授業で取入れたいか？  
取入れたい……………6名  
やや取入れたい……………1名  
どちらでもない……………1名

学生数 n=8。

定した(図8)。その結果、各時間帯の間で有意な差は見られなかったことから、学校での1時間目から6時間目までのいずれの時限でも、本研究で用いた実験条件では体細胞分裂の観察が可能であることが確認された。また、終期の細胞の基準を②「ひも状の染色体が見えないが、細胞板により分離されていない細胞」とした場合でも、9時、12時、15時において分裂頻度に有意な差は見られなかった。このことから、葉ネギの万能小ねぎの発根種子を体細胞分裂の観察・実験に使用する際は、球根タマネギの場合のように授業の時間帯に左右されずに、体細胞分裂像を観察することができると考えられる。

理科教師を目指す大学3年生に、実際に本研究での実験方法によって体細胞分裂のプレパレート作りから始めて観察までの時間を計ると、平均29分であった(表1)。実験方法については事前に確認することはしていないので、プレパレート作りの時間を短くしたい場合は事前に実験方法の

確認が有効かも知れない。また、分裂期の細胞を一種類確認できなかった学生が1名いた。学校でのこのような事態の場合は、班で各人の画像を共有する事によって解決できるかも知れない。

#### 4 まとめ

中学校理科の教科書では、体細胞分裂の観察・実験の時間帯を制限されるとともに結果の再現性に問題がある、即ち、高度学校再現性が低い（実施困難度が $+\infty$ な）生物難教材が掲載されている。その代替教材として葉ネギ及び染色液が提案されているが、細胞分裂を観察出来る時間帯についての研究がなされていないことから、中学校における1時間目から6時間目の時間帯での、葉ネギ発根の根端細胞での体細胞分裂頻度を本研究では測定することとした。標準偏差まで算出したところ、発根の長さ6 mm～9 mmの間で、本研究で定義した細胞分裂頻度には差が見られなかった。このことから、球根タマネギのように、午前10時頃という時間制限は、葉ネギの発根条件では見られないことから、調べた限りでの長さの葉ネギの発根は、学校での細胞分裂観察・実験に適した教材であると考えられた。

#### 参考文献

- ・ 有馬朗人 他62名 (2018)：新版 理科の世界3, 78-83, 大日本図書, 平成27年検定
- ・ 波田野健 (2016)：新版 理科の世界3 教師用指導書 上, 246, 大日本図書
- ・ 池内昌彦・伊藤元己・箸本春樹 (2015)：キャンベル生物学 原書9版, 283, 丸善出版
- ・ 石川統 (訳) (2003)：ウォーレス現代生物学 上, 136, 東京化学同人
- ・ 石川統・黒岩常祥・塩見政衛・松本忠夫・守隆夫・八杉貞雄・山本正幸 (2010)：生物学辞典, 748, 東京化学同人
- ・ 巖佐庸・倉谷滋・斎藤成也・塚谷裕一 (2013)：岩波生物学辞典 第5版, 81, 岩波書店
- ・ 文部科学省 (2008)：中学校学習指導要領解説 理科編 (第3版), 83-84, 大日本図書
- ・ 文部科学省 (2018)：中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説 理科編 平成29年7月, 99-101, 学校図書
- ・ 村松正實 (2008)：分子細胞生物学辞典 第2版, 515, 東京化学同人
- ・ 中村桂子・松原謙一 (訳) (2013)：Essential 細胞生物学 原書第3版 (Bruce Alberts, Dennis Bray, Karen Hopkin, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts, Peter Walter (2011)), 626-638, 南江堂
- ・ 西野秀昭・前田美穂・前田紗綾香 (2011)：中学校理科「細胞分裂の観察・実験」の工夫と教員研修による評価, 教育実践研究, 19: 67-71
- ・ 西野秀昭 (2013)：小学校・中学校理科授業構成への大学による生物教材支援基盤の確立とその有効性の検証～困難な生物教材に関するアンケート調査～, 科教研報, 28 (2), 105-111
- ・ 西野秀昭 (2015)：次期改訂理科教科書の生命生物観察実験の再現性と科学性に視する根拠データベース構築～問題の所在及び観察・実験の実施困難度測定の予備調査～, 平成27年度理科教育学会九州支部大会発表論文集 (宮崎)
- ・ 鈴木孝仁・繁戸克彦・中井一郎・中道貞子・鍋田修身・宮田幸一良・矢島正博 (2014)：改訂版 フォトサイエンス生物図録, 70-71, 数研出版

#### 附記

本研究は、科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）（基盤研究（C）「次期改訂理科教科書の生命生物観察実験の再現性と科学性に資する根拠データベース構築」課題番号16K01021）の交付を受けて行えた成果である。