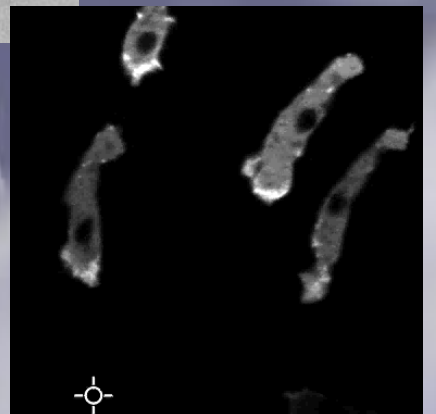
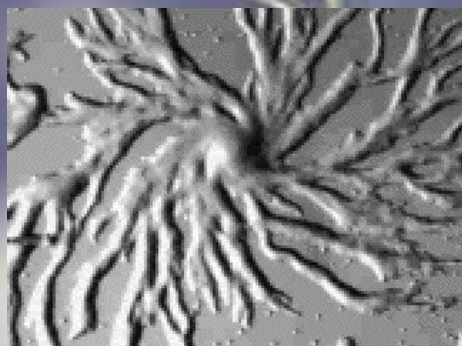
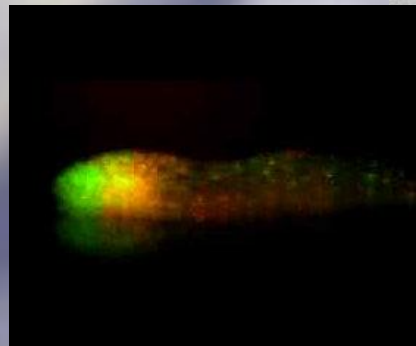
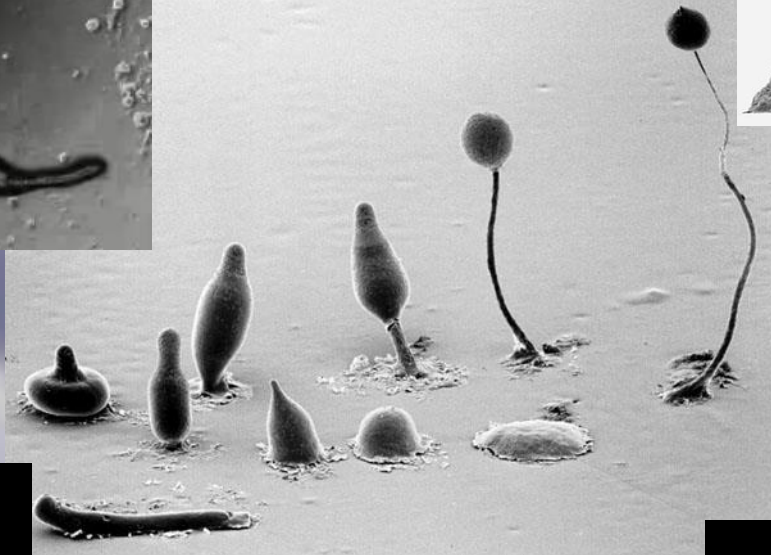
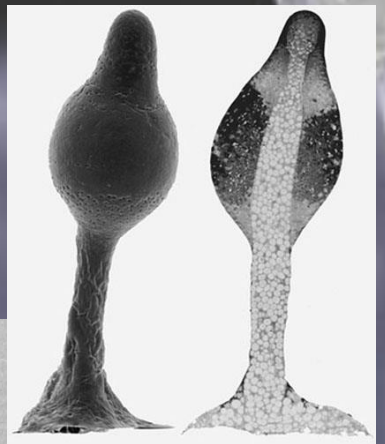


# モデル生物 細胞性粘菌

NBRP トレーニングコース用実験手引書

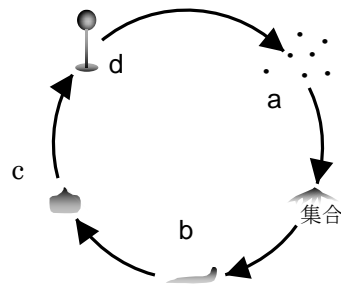


# 目次

- I. はじめに
- II. 細胞性粘菌の培養と保存法
- III. 細胞性粘菌の観察
- IV. 細胞性粘菌の形質転換法
- V. PCR 法遺伝子増幅
- VI. ゲノムDNAの調製
- VII. 土壌からの細胞性粘菌の分離法
- VIII. NBRPからの細胞性粘菌株の提供方法
- IX. 細胞性粘菌に関する参考サイト
- X. 参考書、参考文献
- XI. 培地等組成表

# I. はじめに

細胞性粘菌は土壌中のアメーバ様真核微生物で、通常はバクテリアを捕食しながら分裂増殖している。飢餓状態に陥ると単純な発生過程を経て24時間以内にわずか2種類の細胞分化パターンを持つ多細胞体（子実体）を完成させる（右図）。



細胞性粘菌の生活史

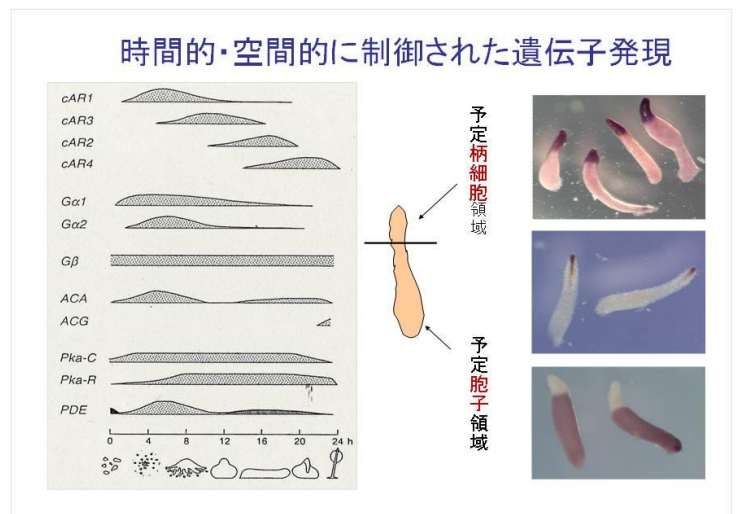
a: 増殖期（単細胞期）

b-d: 形態形成期（多細胞期）

細胞性粘菌の多細胞化は集合中心の細胞が分泌する cAMP に対する走化性運動による。その後、ナメクジ形の移動体を形成する。この段階においてすでに将来胞子になる細胞と、それを支える柄になる細胞が決定されている（右下図）。

以下細胞性粘菌の実験上の特徴を列記すると、

- 培養液中での単純な細胞分裂
  - バクテリアの捕食、消化
  - 走化性等の指向的なアメーバ運動
  - 形態形成の容易な誘導
  - 半数体
  - 容易な形質転換
  - 様々な発現ベクター
  - ゲノム解読の終了
  - 遺伝子、株、論文データベースの充実
  - 高い相同性組換え効率
  - 保存が容易
  - 細胞株の整備
- 等々



本手引書は初めて細胞性粘菌を扱う研究者が実験標準株である *Dictyostelium discoideum* を研究に活用するにあたり、その扱い方を解説することを目的としています。内容は細胞性粘菌培養法から分子生物学的手法を利用した形質転換体の分離までを中心とし、土壌からの細胞性粘菌の分離法についての解説も加えています。

本書によりモデル生物細胞性粘菌が多くの研究の場において活用され、有用な生物学上の発見につながることを願っています。

2018年11月

筑波大学生命環境系 桑山 秀一

## II. 細胞性粘菌の培養と保存法

細胞性粘菌野生株はバクテリアを餌として、寒天培地上あるいは液体培地中で培養することが基本である。ただし、無菌培養株を利用すればバクテリアのない培地中で粘菌細胞だけを純粋培養することが可能である。

### 細胞性粘菌の培養法

#### 1) バクテリアとの二員培養法（発生過程の観察）

（準備）*Dictyostelium discoideum* 標準株（AX2 株）

バクテリア（餌）：*Escherichia coli* B/r あるいは *Klebsiella aerogenes*

5LP 寒天培地（lactose 5.0 g, Bacto Peptone (BD REF No.; 211677) 5.0 g, Bacto Agar 15.0 g / 1L Distilled H<sub>2</sub>O; オートクレーブ滅菌）※直径 9 cm シャーレ  
に対して 20 mL

恒温器（21℃）

1. 5LP 液体培地中（5LP 寒天培地から Agar を抜いたもの）で 37℃一晩培養したバクテリア（餌）（*Escherichia coli* B/r あるいは *Klebsiella aerogenes*）を 0.5 mL 5LP 寒天培地上に滴下し均一に広げたのちクリーンベンチ中で水分がひくまで風乾する。
2. 中心に *Dictyostelium discoideum* 標準株（AX2 株）を植える。
3. 4~5 日間 21 °C に維持された恒温器で保温する。
4. バクテリアを捕食し、中心にプラークが形成される。中心近傍では飢餓状態が進行しており、子実体が観察される。外周へ近づくにつれナメクジ体、集合体、増殖アメーバーが観察される。

<メモ>

## 2) 寒天培地上でのバクテリアとの二員培養法による細胞調整 (Under Water Culture 法)

(準備) *Dictyostelium discoideum* 標準株 (AX2 株)

バクテリア (餌) : *Escherichia coli* B/r あるいは *Klebsiella aerogenes*

N 寒天培地 (glucose 10.0 g, Bacto Peptone (BD REF No.; 211677) 10.0 g,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  0.96 g,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  1.44 g, Bacto Agar 15g / 1 L Distilled  $\text{H}_2\text{O}$ ; オートクレーブ滅菌)

滅菌リン酸緩衝液 ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  1.07 g,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.96 g / 1 L; オートクレーブ滅菌)

滅菌蒸留水、滅菌試験管、遠沈管

恒温器 (21°C)

1. N 寒天培地上で培養したバクテリア (餌) (*Escherichia coli* B/r あるいは *Klebsiella aerogenes*) を適量かきとり、滅菌試験管に入れた滅菌水 3 mL に懸濁する。
2. *Dictyostelium discoideum* 標準株 (AX2 株) アメーバもしくは孢子を適量かきとり、バクテリアを懸濁した滅菌水に懸濁する。
3. N 寒天培地上に懸濁液を移す。
4. 4~5 日間 21 °C 維持された恒温器で保温する。
5. アルコール滅菌したガラス棒 (スプレッダー) で表面を軽くこすり、細胞懸濁液を遠沈管に移す。
6. 300-350 g (1,500 - 2,000 rpm) で 2 min、遠心を行う。
7. 上清を捨て、冷滅菌リン酸緩衝液を入れ懸濁する。
8. 6. 7. の操作をあと 2 回繰り返す (合計 3 回の細胞洗浄)。
9. 細胞性粘菌細胞を適当な緩衝液に懸濁し、実験に使用する (氷上で保存)。

<メモ>

### 3) バクテリアとの二員培養法による細胞調整（液体振盪培養法）

（準備） *Dictyostelium discoideum* 標準株（AX2 株）

バクテリア（餌）： *Escherichia coli* B/r あるいは *Klebsiella aerogenes*

5LP 液体培地（lactose 5.0 g, Bacto Peptone (BD REF No.; 211677) 5.0 g / 1L  
Distilled H<sub>2</sub>O; オートクレーブ滅菌）

滅菌リン酸緩衝液（Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·12H<sub>2</sub>O 1.07 g, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.96 g / 1 L; オートクレーブ  
滅菌）

滅菌蒸留水、滅菌三角フラスコ、遠沈管

恒温器（21℃）、振盪器

1. N 寒天培地上で培養したバクテリア（餌）（*Escherichia coli* B/r あるいは *Klebsiella aerogenes*）を適量かきとり、三角フラスコに移した 5LP 液体培地に懸濁する（5LP 液体培地の容量はフラスコの容量の 20～30%程度）。
2. *Dictyostelium discoideum* 標準株（AX2 株）アメーバもしくは孢子を適量かきとり 5LP 培地中に懸濁する。
3. 4~5 日間 21 °C に維持された恒温器中で振盪する（125 rpm）。
4. 対数増殖期前期（細胞密度 1.0 ~ 3.0 × 10<sup>6</sup> cells / mL）の細胞を遠沈管に回収する。
5. 300-350 g (1,500 - 2,000 rpm) で 2 min、遠心を行う。
6. 上清を捨て、冷滅菌リン酸緩衝液を入れ懸濁する。
7. 5. 6. の操作をあと 2 回繰り返す（合計 3 回の細胞洗浄）。
8. 細胞性粘菌細胞を適当な緩衝液に懸濁し、実験に使用する（氷上で保存）。

<メモ>

#### 4) 無菌培養法による細胞調製 (バクテリアを利用しない方法)

(準備) *Dictyostelium discoideum* 標準株 (AX2 株)

※細胞性粘菌野生株は必ずしも無菌的に培養できるわけではないので、使用する株が無菌培養可能かどうかを事前に確認すること。

(AX と記載がある株由来のものは基本的に無菌培養が可能である。)

HL5 培地 (Glucose 14.3 g, Bacto Proteose Peptone (BD REF No.; 211684) 14.3g, Bacto Yeast Extract (BD REF No.; 212750) 7.15g,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  1.28 g,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.485 g / 1 L; オートクレーブ滅菌)

抗生物質溶液 (1000x; Streptomycin sulfate 100mg, Benzylpenicillin potassium 70 mg / mL) フィルター滅菌を行い、オートクレーブ滅菌した HL5 培地に添加すること。市販されている溶液でも可。

葉酸 (folic acid)、ビタミン B12 (cyanocobalamin) 溶液 (10,000 x; 葉酸 2.0 mg, ビタミン B12 6 mg / mL) NaOH 溶液で中和後溶液が溶解したのを確認しメスアップ後、フィルター滅菌を行い、オートクレーブ滅菌した HL5 培地に添加すること。

滅菌リン酸緩衝液 ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  1.07 g,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.96 g / 1 L; オートクレーブ滅菌)

滅菌シャーレ(例: 直径 9cm) もしくは 滅菌三角フラスコ、遠沈管  
恒温器 (21°C)、振盪器

1. 滅菌シャーレに 20mL の HL5 培地 (+抗生物質、+葉酸、ビタミン溶液; 以下 HL5 と記載がある場合は添加済みのものとする) を満たす。
2. 寒天培地上 (あるいは他の液体培地中) の細胞性粘菌胞子 (あるいはアメーバ細胞) を白金耳等をかきとり懸濁する。
3. 4~5 日間 21 °C維持された恒温器中で保温する。
4. 液体振盪培養を行う場合は、細胞をパスツールピペット等をかきとり、滅菌した三角フラスコに移し、21 °C、125 rpm で振盪培養する。この場合、液体培地の容量はフラスコの容量の 20% を目安とする。
5. 前期増殖期 ( $1.0 \sim 3.0 \times 10^6$  cells / mL の細胞密度) の細胞を遠沈管に回収する。
6. 300-350 g (1,500 - 2,000 rpm) で 2 min、遠心を行う。
7. 上清を捨て、冷滅菌リン酸緩衝液を入れ懸濁する。
8. 6. 7. の操作をあと 2 回繰り返す (合計 3 回の細胞洗浄)。
9. 細胞性粘菌細胞を適当な緩衝液に懸濁し、実験に使用する (氷上で保存)。

<メモ>

## 細胞性粘菌の保存法

### 1) シリカゲルを用いた孢子保存法

(準備) 子実体を形成した細胞性粘菌

シリカゲル (白色小粒子のもの ; 180°C 2 時間程、乾熱滅菌を行っておく)

感熱滅菌したガラス製バイアル瓶 (蓋はオートクレーブ後に乾燥)

あるいは、滅菌したマイクロチューブでも可 (滅菌、密閉できるものであること)

0.5 % ドライミルク溶液 (オートクレーブ後、冷蔵保存)

1. 新しく作製した細胞性粘菌のストックプレート (子実体を形成させたプレート) を冷蔵庫で冷やす。
2. 滅菌した白金耳で子実体の孢子塊を集め、少量 (0.5 mL 程度) のドライミルク溶液にとる。この操作を繰り返し行い、できるだけたくさんの孢子を集める。(ドライミルク溶液を使用せず、孢子を直接シリカゲルに懸濁しても保存は可能である。)
3. 孢子を含んだドライミルク溶液を氷で冷やし、あらかじめ冷やしておいたシリカゲル容器に滴下する (約 0.2 mL / 1g シリカゲル)。
4. 容器を密閉 (蓋を) し良く振って中身を均一にした後、この容器を乾燥剤を入れた別の容器に入れて冷蔵保存する。

(戻し方)

(準備) シリカゲルに保存した孢子

バクテリア (餌) : *Escherichia coli* B/r あるいは *Klebsiella aerogenes*

5LP 寒天培地 (lactose 5.0 g, Bacto Peptone (BD REF No.; 211677) 5.0 g,

Bacto Agar 15.0 g / 1L Distilled H<sub>2</sub>O) ※直径 9 cm シャーレに対して 20 mL

恒温器 (21°C)

1. 5LP 液体培地中 (5LP 寒天培地から Agar を抜いたもの) で 37°C 一晚培養したバクテリア (餌) (*Escherichia coli* B/r あるいは *Klebsiella aerogenes*) を 0.5 mL 5LP 寒天培地上に滴下し均一に広げたのちクリーンベンチ中で水分がひくまで風乾する。
2. 孢子が懸濁されたシリカゲルストックを適当にばら捲く。(あるいは、バクテリア溶液にシリカゲルを数粒入れ、良く攪拌後 5LP 寒天培地に拡げる。
3. 3~7 日間、21°C で保温する。
4. 子実体を観察したら、新しい 5LP バクテリア培地あるいは無菌培地 (HL 5 等) に移す。

(メモ)



## 2) DMSOを用いたアメーバ細胞の保存法

胞子を作らない変異株はシリカゲルを用いた方法で保存できない。そのような株はアメーバ細胞として超低温 (-80 °C 以下) フリーザあるいは液体窒素中で凍結保存する。

(準備) 細胞性粘菌アメーバ (HL5 培地に懸濁された、あるいはリン酸)

培養グレードの DMSO (例: Hybrimax; sigma 社, HPLC グレードのものも使用可)

滅菌蒸留水

滅菌済みのクライオチューブ

滅菌リン酸緩衝液  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  1.07 g,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.96 g / 1 L; オートクレーブ

滅菌)

-80 °C フリーザー、(液体窒素)

1. 滅菌水を用いて 20 % DMSO 溶液を作製し、冷蔵保存 (もしくは冷凍保存) する (フィルター滅菌不可)。直前まで氷上で冷却しておく。
2. 細胞懸濁液を用意する。細胞懸濁液は、HL5 で無菌培養細胞、あるいは二員培養し遠心処理によりバクテリアを除き滅菌リン酸緩衝液に懸濁した細胞のどちらでもよい。また、細胞密度は  $1.0 \times 10^8$  cells / mL にしておく。
3. 氷上で冷却してある 20 % DMSO 溶液から 0.5 mL をクライオチューブに移す。
4. 懸濁した細胞を 0.5 mL 入れ、氷上で穏やかにピペティングする。
5. これを細胞凍結用の容器 (BICELL など) に入れ、-80 °C の冷凍庫に数時間以上置く。(※ゆっくりと冷やし、過冷却の状態まで作り出すのが目的である。) 容器が無い場合は綿を折り入れた箱に、チューブを挟みこむように挿入し、そのまま -80 °C のフリーザーに入れ、数時間冷やす。
6. チューブをクライオボックス等に移し、-80 °C あるいは液体窒素で保存する。

(メモ)

(フリーズストック細胞の戻し方)

(準備) クライオチューブで保存してある冷凍細胞ストック

HL5培地あるいは5LP液体培地

バクテリア (餌) (*Escherichia coli* B/r あるいは *Klebsiella aerogenes*)

5LP寒天培地 (lactose 5.0 g, Bacto Peptone (BD REF No.; 211677) 5.0 g, Bacto Agar 15.0 g / 1L Distilled H<sub>2</sub>O; オートクレーブ滅菌) ※直径 9 cm シャーレに対して 20 mL

恒温器 (21°C)

1. フリーザーからチューブを出し、室温に置く。
2. ゆっくり振りながら全体が溶けた時点で、HL5培地あるいは5LP培地を適量ゆっくり加え、15 mL 遠沈管に移す。
3. HL5培地あるいは5LP培地を 15 mL になるまで足し、300-350 g (1,500 - 2,00 rpm) で 2 min、遠心を行う。
4. 上清みを捨て、適量のHL5を加え、滅菌シャーレに移し、適量のHL5培地を足す。5LP培地を加え 2 員培養するときには、沈殿した細胞に5LPで増やしたバクテリア懸濁液を 1~2 mL 加え、0.5 mL を5LP寒天培地に播く。
5. 3~7日間、21°Cで保温する。

※ HL5液体培地に戻す場合、溶かした細胞液を直接 15 mL の液体培地に移してもDMSOは細胞の増殖を阻害しない程度まで希釈されるので大丈夫である。

また、凍ったストックが絶対溶けないような保冷容器にチューブを入れてクリーンベンチ中で滅菌した細いスパチュラなどで凍ったストックの表面を少し掻き取ってシャーレ中の新鮮な栄養培地に入れ、チューブが溶けないうちにフリーザなどに戻すことで1本のチューブから何度でも細胞を戻すことができる。

(メモ)

### Ⅲ. 細胞性粘菌の観察

細胞性粘菌はアメーバ細胞として増殖し、栄養を取り除き寒天プレート上などの適当な水分条件下で多細胞体形成を行い、胞子と柄からなる子実体を形成する。

#### 細胞性粘菌の発生過程の観察

##### 1) バクテリアとの二員培養による発生過程の観察

(準備) *Dictyostelium discoideum* 標準株 (AX2 株)

バクテリア (餌) : *Escherichia coli* B/r あるいは *Klebsiella aerogenes*

5LP 寒天培地 (lactose 5.0 g, Bacto Peptone (BD REF No.; 211677) 5.0 g, Bacto Agar 15.0 g / 1L Distilled H<sub>2</sub>O) ※直径 9 cm シャーレに対して 20 mL

恒温器 (21°C)

1. 5LP 液体培地中 (5LP 寒天培地から Agar を抜いたもの) で 37°C 一晚培養したバクテリア (餌) (*Escherichia coli* B/r あるいは *Klebsiella aerogenes*) を 0.5 mL 5LP 寒天培地上に滴下し均一に広げたのちクリーンベンチ中で水分がひくまで風乾する。
2. 中心に *Dictyostelium discoideum* 標準株 (AX2 株) を植える。
3. 4~5 日間 21 °C に維持された恒温器で保温する。
4. バクテリアを捕食し、中心にプラークが形成される。中心近傍では飢餓状態が進行しており、子実体が観察される。外周へ近づくとつれなメクジ体、集合体、増殖アメーバーが観察される。

<メモ>

## 2) 細胞性粘菌発生過程の経時的観察 (寒天上)

(準備) *Dictyostelium discoideum* 標準株 (AX2 株)

バクテリア (餌) : *Escherichia coli* B/r あるいは *Klebsiella aerogenes*

5 LP 液体培地 (lactose 5.0 g, Bacto Peptone (BD REF No.; 211677) 5.0 g, Bacto / 1L Distilled H<sub>2</sub>O)

滅菌リン酸緩衝液 (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> · 12H<sub>2</sub>O 1.07 g, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.96 g / 1 L; オートクレーブ滅菌)

滅菌 BSS (NaCl 0.6 g, KCl 0.75 g, CaCl<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O 0.4 g / 1 L; オートクレーブ滅菌) 恒温器 (21°C)

無栄養寒天 (Bacto Agar 15.0 g / 1L Distilled H<sub>2</sub>O)

1. 対数増殖期前期 (1.0 ~ 3.0 × 10<sup>6</sup> cells / mL) の H L 5 で純粋培養あるいは 5 L P 液体培地中で二員培養した細胞性粘菌を遠沈管に回収する。
2. 300 - 350 g (1,500 - 2,000 rpm) で 2 min、遠心を行う。
3. 上清を捨て、冷滅菌リン酸緩衝液を入れ懸濁する。
4. 2. 3. の操作をあと 2 回繰り返す (合計 3 回の細胞洗浄)。
5. 1.0 × 10<sup>7</sup> cells / mL (目安) になるように、細胞を冷滅菌リン酸緩衝液もしくは冷 BSS に懸濁する。
6. 5 μL をピペットで吸い取り、無栄養寒天に滴下する。この時、寒天を突き刺してしまわないように注意する。
7. 水気がひくまで風乾後、21 °C に維持された恒温器で保温する。
8. 実体顕微鏡等で経時的に観察する。

<メモ>

### 3) 細胞性粘菌発生過程の経時的観察 (リン酸緩衝液中)

細胞性粘菌は水中では子実体を形成しないが、集合までは行うことができる。細胞集合の細胞レベルの観察は、カバーガラス上、水没下の条件で行うことが可能である。

(準備) *Dictyostelium discoideum* 標準株 (AX2 株)

バクテリア (餌) : *Escherichia coli* B/r あるいは *Klebsiella aerogenes*

5 LP 寒天培地 (lactose 5.0 g, Bacto Peptone (BD REF No.; 211677) 5.0 g, Bacto

Agar 15.0 g / 1L Distilled H<sub>2</sub>O) ※直径 9 cm シャーレに対して 20 mL

滅菌リン酸緩衝液

恒温器 (21°C)

無栄養寒天 (Bacto Agar 15.0 g / 1L Distilled H<sub>2</sub>O)

1. 対数増殖期前期 ( $1.0 \sim 3.0 \times 10^6$  cells / mL) の H L 5 で純粋培養あるいは 5 L P 液体培地中 (5 LP 寒天培地から Agar を抜いたもの) で二員培養した細胞性粘菌を遠沈管に回収する。
2. 300 - 350 g (1,500 - 2,000 rpm) で 2 min、遠心を行う。
3. 上清を捨て、冷滅菌リン酸緩衝液を入れ懸濁する。
4. 2. 3. の操作をあと 2 回繰り返す (合計 3 回の細胞洗浄)。
5.  $1.0 \times 10^7$  cells / mL (目安) になるように、細胞を冷滅菌リン酸緩衝液に懸濁する。
6.  $1.0 \times 10^6$  cells / cm<sup>2</sup> (目安) になるように、ガラスボトムディッシュ等に移す。
7. 21 °C に維持された恒温器で保温する。
8. 倒立顕微鏡にて細胞の様子を観察する。

<メモ>

## IV. 細胞性粘菌の形質転換法

研究標準株である *Dictyostelium discoideum* (AX 株) は、形質転換法が確立されている。また、形質転換に必要な様々なベクター類も整備されている。

### 細胞性粘菌 AX 株の形質転換(エレクトロポレーション法)

(準備) *Dictyostelium discoideum* 標準株 (AX2 株)

HL5 培地 (Glucose 14.3 g, Bacto Proteose Peptone (BD REF No.; 211684) 14.3g, Bacto Yeast Extract (BD REF No.; 212750) 7.15g, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> · 12H<sub>2</sub>O 1.28 g, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.485 g / 1 L)

抗生物質溶液 (1000x; Streptomycin sulfate 100mg, Benzylpenicillin potassium 70 mg / mL) フィルター滅菌を行い、オートクレーブ滅菌した HL5 培地に添加すること。

葉酸 (folic acid)、ビタミン B12 (cyanocobalamin) 溶液 (10,000 x; 葉酸 2.0 mg, ビタミン B12 6 mg / mL) NaOH 溶液で中和後溶液が溶解したのを確認しメスアップ後、フィルター滅菌を行い、オートクレーブ滅菌した HL5 培地に添加すること。

エレクトロポレーション緩衝液 (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> · 12H<sub>2</sub>O 0.32 g, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1.40 g, Sucrose 17.12 g / 1 L; フィルター滅菌)

形質転換用 DNA

幅 2 mm サイズのエレクトロポレーション専用キュベット

滅菌ヒーリング溶液 (100 mM CaCl<sub>2</sub>, 100 mM MgCl<sub>2</sub>; オートクレーブ滅菌)

滅菌シャーレ(例: 直径 9cm)

遠沈管

恒温器 (21°C)

1. エレクトロポレーション緩衝液を準備する。エレクトロポレーション緩衝液はフィルター滅菌により滅菌する。
2. 対数増殖期前期 ( $1.0 \sim 3.0 \times 10^6$  cells / mL) の HL5 で純粋培養した細胞性粘菌を遠沈管に回収する。
3. 300 - 350 g (1,500 - 2,000 rpm) で 2 min、遠心を行う。
4. 上清を捨て、冷エレクトロポレーション溶液を  $5.0 \times 10^7$  cells / mL になるように加え穏やかに懸濁し、氷上に静置する。
5. 400  $\mu$ L をキュベットに移し、10~20  $\mu$ g の DNA を加えて、穏やかに懸濁する。
6. 30 分間氷上で静置する。

7. 電気刺激を与える。(例 ; BTX 社 ECM830, 500 V, 100  $\mu$  sec,  $\times$  10: Biorad 社 Gene Pulser, 0.85 kV, 25  $\mu$  F,  $\times$  2 : 電気刺激による致死率は 25%以下になることは避ける。通常 50 %程度である。)
8. 5 分間氷上で静置する。
9. この間に 4  $\mu$  L のヒーリング溶液を滅菌シャーレの上に滴下しておく。
10. 電気刺激を与えた細胞懸濁液を滅菌シャーレに移し、ヒーリング溶液と軽く懸濁する。
  11. 10 ~ 15 分間 21 $^{\circ}$ C で保温する。
  12. 15 mL HL 5 培地をゆっくりと加え、21  $^{\circ}$ C 保温する。コロニーで分離したい場合は、この時点で 96 穴滅菌プレートに分注しておく。その場合、HL 5 培地を 40 mL 加え、100  $\mu$  L / well ずつ分注する。
  13. 12 ~ 24 時間後、1,000 倍濃度の選択薬剤 (G418; 20 mg / mL, Blastocidin S 10 mg / mL : フィルター滅菌したもの) を 15  $\mu$  L 加える。96 well に分注している場合は、Final 濃度 (G418; 20  $\mu$  g / mL, Blastocidin S 10  $\mu$  g / mL) の 2 倍濃度の G418 あるいは Blastocidin S を加えた HL 5 培地を 100  $\mu$  L ずつ加える。
  14. 4 - 5 日で選択薬剤入り培地を交換する。
  15. 形質転換がうまくいっている場合、G418 の場合 10 ~ 14 日後、Blastocidin S の場合 7 ~ 10 日後にコロニーが観察される。

<メモ>

## 細胞性粘菌 AX 株の形質転換(リン酸カルシウム法)

(準備) *Dictyostelium discoideum* 標準株 (AX2 株)

HL5 培地 (Glucose 14.3 g, Bacto Proteose Peptone (BD REF No.; 211684) 14.3g, Bacto Yeast Extract (BD REF No.; 212750) 7.15g, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> ·12H<sub>2</sub>O 1.28 g, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.485 g / 1 L)

抗生物質溶液 (1000x; Streptomycin sulfate 100mg, Benzylpenicillin potassium 70 mg / mL) フィルター滅菌を行い、オートクレーブ滅菌した HL5 培地に添加すること。

葉酸 (folic acid)、ビタミン B12 (cyanocobalamin) 溶液 (10,000 x; 葉酸 2.0 mg, ビタミン B12 6 mg / mL) NaOH 溶液で中和後溶液が溶解したのを確認しメスアップ後、フィルター滅菌を行い、オートクレーブ滅菌した HL5 培地に添加すること。

Bis-Tris HL5 培地 (2.1g Bis-Tris in HL5, pH 7.1 with HCl, フィルター滅菌)

1.25M CaCl<sub>2</sub> 溶液 (フィルター滅菌)

18 % グリセロール溶液 in 1x HBS

2 x HBS 溶液 (4.0 g NaCl, 0.18 g KCl, 0.05 g Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 2.5 g HEPES, 0.5 g グルコース / 1 L 蒸留水, pH to 7.1 with NaOH:フィルター滅菌.)

形質転換用 DNA

滅菌シャーレ(例 : 直径 9cm)

遠沈管

恒温器 (21°C)

1. 対数増殖期前期 (1.0 ~ 2.0 × 10<sup>6</sup> cells / mL) の HL5 で純粋培養した細胞性粘菌 10 mL を滅菌シャーレに播く。
2. 30 分間 21°C で静置・保温する。
3. HL5 を細胞を残して丁寧に取り除き、12.5 mL の Bis-Tris HL5 を静かに加え、30 分間 21°C で静置・保温する。
4. 10~20 μg DNA を含んだ 1x HBS 溶液 540 μL を準備する。
5. 60 μL の 1.25M CaCl<sub>2</sub> を加え、600 μL とする。
6. 静置してあるシャーレから Bis-Tris HL5 を静かに取り除き、5. の DNA 溶液を中心からゆっくり滴下する。
7. 蓋をして 30 分間 21°C で静置・保温する。
8. 12.5 mL の Bis-Tris HL5 を静かに加え、4 時間 21°C で静置・保温する。
9. 静置してあるシャーレから Bis-Tris HL5 を静かに取り除き、4 mL の 18 % グリセロール溶液 in 1x HBS をゆっくりと加える。



10. 正確に5分間21°Cで静置・保温する。
11. グリセロール溶液 in 1x HBS を吸い取り、15 mL HL5 培地を加える。
12. 12 ~24時間後、1,000倍濃度の選択薬剤(G418; 20 mg / mL, Blastcidin S 10 mg / mL : フィルター滅菌したもの) を 15  $\mu$ L 加える。96 well に分注している場合は、Final 濃度 (G418; 20  $\mu$ g / mL, Blastcidin S 10  $\mu$ g / mL) の2倍濃度の G418 あるいは Blastcidin S を加えた HL5 培地を 100  $\mu$ L ずつ加える。
13. 4-5日で選択薬剤入り培地を交換する。
14. 形質転換がうまくいっている場合、G418 の場合 10~14 日後、Blasticidin S の場合 7~10 日後にコロニーが観察される。

<メモ>

## V. PCR法による遺伝子増幅

一般的なゲノムを鋳型としたPCR法で細胞性粘菌の遺伝子を増幅することが可能であるが、細胞性粘菌ゲノムはATリッチであるため反応条件の若干の変更が必要となる。

(準備) *Dictyostelium discoideum* 標準株 (AX株) ゲノムDNA

オリゴDNA 2本

耐熱性ポリメラーゼ (例 TOYOBO, KOD plus)

1.5 mL マイクロチューブ、PCR 専用マイクロチューブ

1. PCRのテンプレートとなるDNAを調製する。(ゲノムDNA、プラスミドDNA etc)
2. High-Fidelity タイプの耐熱性酵素を使用することが望ましい。  
(例: TOYOBO 社 KOD シリーズ、Takara 社プライムスター、Finnzyme 社 Phusion 等)

10 × KOD plus ver2 buffer	3.0 μL
dNTP mix (2.0 mM)	3.0 μL
MgSO <sub>4</sub> (25 mM)	3.0 μL
プライマー (10μM)	
5'側	1.5 μL
3'側	1.5 μL
テンプレート (プラスミド or ゲノムDNA)	0.1 ng(プラスミド) 10 ng(ゲノムDNA)
<u>KOD plus</u>	<u>0.3 μL</u>
	up to 30.0 μL with dH <sub>2</sub> O

サーマルサイクラーの条件 ; 94°C、(94°C-2min、50-60°C-20sec、65°C-全長 kbp x 1 min) x25、65°C-全長 kbp x 1min、Hold

3. 5 μL の反応溶液を電気泳動し、目的の長さの断片が増幅されているかを確認する。場合により、ゲノム断片の精製・抽出を行う。

注意 増幅がうまくいかなかった場合には、まずコントロール実験を行い試薬等が劣化していないことを確かめる。さらに、ゲノムDNAを鋳型にした増幅の場合には、5%DMSO(最終濃度)を反応溶液に加えると反応が安定して増幅することがある。

## VI. ゲノムDNAの調製

(準備) *Dictyostelium discoideum* 標準株 (AX 株)

遠沈管

遠心機、卓上冷却遠心機

恒温器 (60°Cと 37°C)

滅菌リン酸緩衝液 ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  1.07 g,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.96 g / 1 L)

STE 緩衝液 (10mM Tris-HCl, 10mM EDTA, 400mM NaCl, pH 8.0)

Proteinase K (10 mg / mL)

10% SDS 溶液

滅菌蒸留水

1.5 mL マイクロチューブ

TE 飽和フェノール

クロロホルム

99.5 % エタノール

70.0 % エタノール

リボヌクレアーゼ A 溶液 (10 mg / mL)

1.  $2.0 \sim 5.0 \times 10^7$  cells の細胞性粘菌細胞を遠沈管に回収する。
2. 300 - 350 g (1,500 - 2,000 rpm) で 2 min、遠心を行う。
3. 上清を捨て、450  $\mu\text{L}$  の STE 緩衝液を加え、細胞を 1.5 mL マイクロチューブ中に懸濁する。
4. 50  $\mu\text{L}$  の 10 % SDS 溶液を加え、蓋をして上下に 5 - 6 回転倒させる。
5. 10  $\mu\text{L}$  の Proteinase K 溶液を加え、同様に転倒させる。
6. 60 °C、1~2 時間、つづいて 37 °C、2 時間~ 1 晩保温する。
7. TE 飽和フェノール / クロロホルム (1:1) 液を 500  $\mu\text{L}$  加え、蓋をして上下に 5 - 6 回転倒させ、15 krpm, 10 分間遠心する。
8. 白く濁った中間層を取らないように上清みだけを、400  $\mu\text{L}$  丁寧に新しいマイクロチューブに移す。
9. (必要に応じて) 7. 8. の操作を合計 3 回まで繰り返す。
10. 冷 99.5%エタノールを 1.0 mL 加え、-20 °C で 30 分間冷却する。
11. 15 krpm, 10 分間遠心する。
12. 沈殿に 70 % エタノールを 1.0 mL 加え、沈殿をリンスする。
13. 軽く遠心処理し、上清みを捨てる。
14. 12. 13. の操作をもう一度行う。

15. 10~15 分間風乾し、100  $\mu$ L 滅菌蒸留水を加えタッピングにより懸濁する。
16. リボヌクレアーゼA 溶液を 1  $\mu$ L 加え、37 $^{\circ}$ C、1~2 時間保温する。
17. ゲノムDNA は凍結・融解処理により断片化するので、冷蔵保存しておく。

<メモ>

## VII. 土壌からの細胞性粘菌の分離法

木陰の湿った場所や落ち葉の下の土壌中から、細胞性粘菌の分離を行う。

(準備)分離用寒天培地 (Glucose 1.0 g, Bacto Peptone (BD REF No.; 211677) 1.0 g,  $K_2HPO_4$ , 1.0 g,  $KH_2PO_4$ , 1.5 g,  $MgSO_4$  1.0 g, Agar 15.0 g / 1.0 L Distilled  $H_2O$ ) ※直径 9 cm シャーレに対して 20 mL (以下同様)

N 寒天培地 (glucose 10.0 g, Bacto Peptone (BD REF No.; 211677) 10.0 g,  $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$  0.96 g,  $KH_2PO_4$  1.44 g, Bacto Agar 15g / 1 L Distilled  $H_2O$ )

5LP 寒天培地 (lactose 5.0 g, Bacto Peptone (BD REF No.; 211677) 5.0 g, Bacto Agar / 1L Distilled  $H_2O$ )

バクテリア (餌) (*Escherichia coli* B/r あるいは *Klebsiella aerogenes*)

滅菌蒸留水

滅菌ガーゼ

1. 土壌の表層部分を採取する。
2. 10 g の土に対して 90 mL の滅菌蒸留水を加え、良く攪拌する。
3. 2 枚に重ねた滅菌ガーゼでこし、ろ液 5mL に対して滅菌蒸留水 7.5 mL を加える。
4. 0.5 mL の 3. の薄めたろ液に対して、0.4 mL バクテリアを懸濁した滅菌蒸留水 (白金耳等でバクテリアを寒天プレートから掻きとって懸濁させる。) を加え、分離培地に均一に塗り拡げる。
5. 21 °C で保温する。
6. 3~7 日後、培地上に出現する子実体をバクテリア懸濁液を塗り拡げた 5LP 寒天上に接種し、21°C で保温する。

<メモ>

## VIII. NBRPからの細胞性粘菌株の提供方法

細胞性粘菌株はNBRP（ナショナルバイオリソースプロジェクト）細胞性粘菌において収集・保存されており、有料で提供を受けることができる（ただし、中等教育等での教育目的に対しては無償で提供を受けることができる）。

細胞性粘菌株の提供申し込み方法

<http://nenkin.lab.nig.ac.jp/>にアクセスする。

The screenshot shows the NBRP Nenkin website interface. At the top, there is a navigation bar with 'Home', '提供申し込み' (Apply for provision), '寄託申し込み' (Apply for deposit), '株' (Strain), '遺伝子' (Gene), and '外部リンク' (External link). The main content area is divided into several sections:

- About this site:** A brief introduction to cellular slime molds as model organisms.
- Contents:** A grid of links to various services:
  - 提供申し込み (Apply for provision):** This section is highlighted with a red circle and a callout box that says '株提供申し込みを クリック' (Click to apply for strain provision). Below the link, it says '中核機関で保存している株やクローンを提供します。株提供申し込み・クローン提供申し込み'.
  - 株データ閲覧 (Strain data viewing):** '国内に保有されている株を中心に収集を進めています。株の閲覧・検索'.
  - 遺伝子クローン閲覧 (Gene clone viewing):** 'Dictyostelium discoideum 予測遺伝子の全長 ORF をカバーする cDNA クローンを整備しています。遺伝子の閲覧・検索'.
- What's New!:** A list of recent updates, including news about educational purposes and new model organisms.
- Contact Us:** Contact information for the main office (Hideko Tsukuba) and the sub-office (Tatsuya Ueda).

株提供のインストラクション画面（この画面を参考に提供依頼してください）

細胞性粘菌は単細胞と多細胞の状態を行き来するユニークな生活環をもち、基礎と応用の両面から注目されているモデル生物です。

Home 提供申し込み 寄託申し込み 株 遺伝子 外部リンク

株申し込み方法

1. [株リスト](#)から希望する株を選び、「To order」ボタンを押す。  
 リストにない株については、米国Dicty Stock Center (DSC)からの取り寄せ代行も行っています。この場合は、取り寄せた株をNBRP粘菌で保存して当該株の国内における将来の利用を容易にするとともに、すみやかに提供依頼者に送付します。MTAは、NBRPから提供依頼者に提供された形になります。この提供も他のNBRP収集株の場合と同じルールで課金対象になりますが、Fedex送料負担でDSCより直接で入手した場合より割安になる場合が多くなると思われます。直接Dicty-NBRP<dicty-nbrp@m.aist.go.jp>宛てにメールでお申し込み下さい。
2. 右上の「カートを見る (注文)」ボタンを押してカート画面に移動する。

NBRP ID	strain name	parental strain	isogenicity method	line conditions	detail	request
S00001	Ax2	AX1	spontaneous	A	View	To order
S00002	V12	Natural isolate	Natural isolate	A	View	To order
S00003	axcA-85R	Ax2	ADHI insertion	A	View	To order
S00004	axcA	axcA	homologous	A	View	To order

### 申し込みに必要な情報

- ・メールアドレス
- ・クレジットカード（支払い用）
- ・受け取り方法（配送方法；冷蔵、普通、手渡し）

<メモ>

## Ⅹ. 細胞性粘菌に関する参考サイト

1. <http://dictybase.org/>

細胞性粘菌の国際サイト。細胞性粘菌の研究標準株 *Dictyostelium discoideum* を中心としたコミュニティサイト。ゲノムや遺伝子情報の検索、細胞性粘菌研究室、国際細胞性粘菌学会の案内等の情報もこちらから取得することができる。

2. <http://dicty.jp/>

日本細胞性粘菌学会のホームページ。2011年に立ち上がった日本の細胞性粘菌学会に関する情報や年会の情報が取得できる。随時会員の受付をしている。日本の細胞性粘菌研究者ホームページへのリンクもある。

3. <http://www.biol.tsukuba.ac.jp/~hideko/index.html>

筑波大学の細胞性粘菌研究室のホームページ。研究内容の紹介や大学院生の募集を行っている。



## X. 参考書、参考文献

1. 細胞性粘菌：研究の新展開  
～モデル生物・創薬資源・バイオ～  
編著者 阿部知顕・前田靖雄、アイピーシー（2012）  
2000年発行のモデル生物：細胞性粘菌の改訂版。細胞性粘菌の実験上の扱いに関する章もある。
2. 細胞性粘菌のサバイバル—環境ストレスへの巧みな応答（新・生命科学ライブラリー—生物再発見）、漆原秀子著、サイエンス社  
細胞性粘菌に関する生態と研究を初心者にわかりやすく解説してある細胞性粘菌の入門書。
3. パワフル粘菌、前田靖男著、東北大学出版会  
細胞性粘菌の発生に関してご自身の研究を元に分かりやすく解説した書。
4. Dictyostelium.  
Richard H. Kessin.  
Cambridge University Press, 2001  
英語で書かれた細胞性粘菌研究の総説書。
5. Differentiation in social amoebae..  
John T Bonner.  
Sci. Am. 201, 152-162, 1959  
古い英語で書かれた一般向けの細胞性粘菌総説。
6. Transformation of *Dictyostelium discoideum* with plasmid DNA.  
Gaudet P, Pilcher KE, Fey P, Chisholm RL.  
Nat Protocols. 2(6):1317-1324, 2007.  
細胞性粘菌の形質転換法の解説。
7. A new set of small, extrachromosomal expression vectors for *Dictyostelium discoideum*.  
Veltman DM, Akar G, Bosgraaf L, Van Haastert PJ.  
Plasmid. 61(2):110-118, 2009.  
細胞性粘菌の種々の遺伝子発現ベクターに関する論文。ベクターはNB RP 細胞性粘菌で入手が可能。
8. A versatile set of tagged expression vectors to monitor protein localization and function in *Dictyostelium*.  
Dubin M, Nellen W.  
Gene. 465(1-2):1-8, 2010.

細胞性粘菌の種々の遺伝子発現ベクター、特に蛍光タンパク質融合発現ベクターに関する論文。ベクターはNB RP 細胞性粘菌で入手が可能。

9. A user's guide to restriction enzyme-mediated integration in *Dictyostelium*.  
Guerin NA, Laroche DA.  
J. Muscle Res. Cell Motil. 2002;23(7-8):597-604.  
遺伝子挿入による突然変異株の作製、分離と遺伝子解析方法に関する総説。必要なベクターはNB RP 細胞性粘菌で入手が可能。
10. PCR-mediated generation of a gene disruption construct without the use of DNA ligase and plasmid vectors.  
Hidekazu Kuwayama, Shinji Obara, Takahiro Morio, Mariko Katoh, Hideko Urushihara and Yoshimasa Tanaka.  
Nucleic Acids Research. 30 (2):e2, 2002  
PCR 法による遺伝子破壊ベクター作製に関する論文。

## X I . 培地等組成表

<b>HL5 培地</b> (オートクレーブ滅菌)	Proteose Peptone	14.3 g
	(BD REF No.; 211684)	
	Yeast Extract	7.15 g
	BD REF No.; 212750	
	Glucose	14.3 g
	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.485g
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> · 12H <sub>2</sub> O	1.28g	
	蒸留水	to 1 liter

<b>5LP 培地</b> (オートクレーブ滅菌) (5LP 寒天培地の場合は + 15.0 g Bacto agar)	Lactose	5.0 g
	Bacto Peptone	5.0 g
	(BD REF No.; 211677)	
	蒸留水	to 1 liter

<b>N 培地</b> (オートクレーブ滅菌)  (N 寒天培地の場合は + 15.0 g Bacto agar)	Glucose	10.0 g
	Bacto Peptone	10.0 g
	(BD REFNo.; 211677)	
	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.44 g
	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> · 12H <sub>2</sub> O	0.96 g
	蒸留水	to 1 liter

<b>分離培地</b> (オートクレーブ滅菌)	Glucose	1.0 g
	Bacto Peptone	1.0 g
	(BD REFNo.; 211677)	
	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.0 g
	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1.5 g
	MgSO <sub>4</sub>	1.0 g
	Bacto agar	15.0 g
	蒸留水	to 1 liter

<b>リン酸緩衝液</b> (オートクレーブ滅菌)	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> · 12H <sub>2</sub> O	1.07 g
	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.96 g
	蒸留水	to 1 liter

<b>BSS (オートクレーブ滅菌)</b>  (BSS-寒天の場合は + 15.0 g Bacto agar)	NaCl	0.60 g
	KCl	0.75 g
	CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.40 g
		蒸留水

<b>エレクトロポレーション 緩衝液</b> (フィルター滅菌)	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · 12H <sub>2</sub> O	0.32 g
	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.40 g
	Sucrose	17.12 g
	蒸留水	to 1 liter

<b>ヒーリング溶液</b> (オートクレーブ滅菌)	CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	1.51 g
	MgCl <sub>2</sub>	0.952 g
	蒸留水	to 100 mL

**= 注意 =**

組換え実験室内ですので飲食・喫煙はご遠慮ください。

<メモ>

---

氏名

© 2018 H. Kuwayama