



田辺晶史

生態学のための  
メタバーコーディング  
とDNAバーコーディング

# 採集・分子実験編



生態学のためのメタバーコーディングと DNA バーコーディング：  
採集・分子実験編

田辺晶史

2019 年 6 月 23 日



# 目次

はじめに	1
第 1 章 環境 DNA・メタゲノム DNA の採集方法	3
1.1 サンプリングデザイン	3
1.2 テクニカルレプリケートとネガティブコントロール	4
1.3 水からの濾過採集方法	4
1.3.1 濾過フィルターと濾過方法と固定方法の選定	4
1.3.2 濾過関連機材の塩素漂白の方法	4
必要な機材	4
必要な消耗品	4
作業手順	5
1.3.3 吸引濾過装置を用いた水からの微生物メタゲノム DNA・環境 DNA の濾過採集方法	5
必要な機材	5
必要な消耗品	6
作業手順	6
1.3.4 シリンジを用いた水からのメタゲノム DNA・環境 DNA の濾過採集方法	7
必要な機材	7
必要な消耗品	8
作業手順	8
第 2 章 DNA 抽出・ライブラリ調製・シーケンシング	11
2.1 機材・試薬の滅菌と DNA 分解によるコンタミネーションの抑制	11
2.2 テクニカルレプリケートとネガティブコントロール	12
2.3 DNA 抽出	12
2.3.1 47mm グラスファイバーフィルターからの DNA 抽出プロトコル	12
必要な機材	12
必要な試薬・消耗品	12
作業手順	12
2.3.2 47mm 非グラスファイバーフィルターからの DNA 抽出プロトコル	12
必要な機材	12
必要な試薬・消耗品	12
作業手順	12
2.3.3 ステリベクスからの DNA 抽出プロトコル	13
必要な機材	13

	必要な試薬・消耗品	13
	作業手順	13
2.3.4	磁気ビーズを用いた DNA の精製プロトコル	13
	必要な機材	13
	必要な試薬・消耗品	13
	作業手順	13
2.4	ライブラリ調製	13
	必要な機材	13
	必要な試薬・消耗品	14
	作業手順	14
2.4.1	プライマーの設計と発注の方法	14
	必要な機材	14
	必要な試薬・消耗品	14
	作業手順	14
2.4.2	ユニバーサルプライマーを用いた PCR のプロトコル (泳動用)	14
	必要な機材	14
	必要な試薬・消耗品	14
	作業手順	14
2.4.3	アガロースゲル電気泳動のプロトコル	15
	必要な機材	15
	必要な試薬・消耗品	15
	作業手順	15
2.4.4	ユニバーサルプライマーを用いた PCR のプロトコル (本番用)	15
	必要な機材	15
	必要な試薬・消耗品	15
	作業手順	15
2.4.5	磁気ビーズを用いた PCR 産物の精製プロトコル	15
	必要な機材	15
	必要な試薬・消耗品	16
	作業手順	16
2.4.6	Exonuclease I を用いた PCR 産物の精製プロトコル	16
	必要な機材	16
	必要な試薬・消耗品	16
	作業手順	16
2.4.7	アダプターを付加する PCR のプロトコル	16
	必要な機材	16
	必要な試薬・消耗品	16
	作業手順	16
2.4.8	インデックスと P5・P7 アダプターを付加する PCR のプロトコル	17
	必要な機材	17
	必要な試薬・消耗品	17
	作業手順	17

2.4.9	磁気ビーズを用いた PCR 産物の濃度均一化	17
	必要な機材	17
	必要な試薬・消耗品	17
	作業手順	17
2.4.10	E-Gel SizeSelect によるサイズ選択	17
	必要な機材	17
	必要な試薬・消耗品	18
	作業手順	18
2.5	ライブラリのクオリティチェック	18
2.5.1	Qubit による濃度測定と希釈	18
	必要な機材	18
	必要な試薬・消耗品	18
	作業手順	18
2.5.2	Bioanalyzer による電気泳動	18
	必要な機材	18
	必要な試薬・消耗品	18
	作業手順	19
2.6	MiSeq によるシーケンス	19
	必要な機材	19
	必要な試薬・消耗品	19
	作業手順	19
引用文献		21
付録 A	DNA 採集関連機材の自作	23
A.1	漂白剤抜き器の作成	23
	必要な機材	23
	必要な部材	23
	作業手順	23
A.2	車載用吸引ポンプユニットの作成	24
	必要な機材	24
	必要な部材	24
	作業手順	24
A.3	吸引濾過装置の作成	25
	必要な機材	25
	必要な部材	25
	作業手順	25
A.4	プラスチックバッグと濾過フィルターユニットの接続アダプタの作成	26
	必要な機材	26
	必要な部材	26
	作業手順	26
付録 B	試薬の調製	27

B.1	DNA・RNA 固定液の調製	27
B.1.1	1M クエン酸ナトリウム	27
	必要な機材	27
	必要な試薬・消耗品	27
	作業手順	28
B.1.2	DNA・RNA 固定液	28
	必要な機材	28
	必要な試薬・消耗品	28
	作業手順	28
B.2	DNA 抽出用試薬の調製	29
B.2.1	1M NaCl	29
	必要な機材	29
	必要な試薬・消耗品	29
	作業手順	29
B.2.2	0.1M Tris-HCl pH6.4	30
	必要な機材	30
	必要な試薬・消耗品	30
	作業手順	30
B.2.3	Insect Lysis Buffer	30
	必要な機材	30
	必要な試薬・消耗品	31
	作業手順	31
B.2.4	Column Binding Buffer	31
	必要な機材	31
	必要な試薬・消耗品	31
	作業手順	32
B.2.5	Wash Buffer	32
	必要な機材	32
	必要な試薬・消耗品	32
	作業手順	32
B.3	PCR 産物精製用磁気ビーズ液 (MagNA) の調製	33
	必要な機材	33
	必要な試薬・消耗品	33
	作業手順	33
B.4	PCR 産物濃度均一化用磁気ビーズ液の調製	34
	必要な機材	34
	必要な試薬・消耗品	34
	作業手順	35



# はじめに

本書はクリエイティブ・コモンズの表示-継承 4.0 国際ライセンスの下で配布します。このライセンスの下では、原作者の明示を行う限り、利用者は自由に本書を複製・頒布・展示することができます。また、原作者の明示と本ライセンスまたは互換性のあるライセンスの適用を行う限り、本書を改変した二次著作物の作成・配布も自由に行うことができます。詳しい使用許諾条件を見るには

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

をチェックするか、クリエイティブ・コモンズに郵便にてお問い合わせください。住所は Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA です。

本書が皆さんの役に立つことができましたら幸いです。この機会を与えて下さった京大生態学研究センターの東樹宏和博士、水産研究・教育機構中央水産研究所の長井敏博士、龍谷大学の山中裕樹博士と、本書をお読みの皆さんに感謝します。



## 第 1 章

# 環境 DNA ・ メタゲノム DNA の採集方法

ここでは、水からの環境 DNA 採集、および水、土壌、糞などからのメタゲノム DNA の採集方法について解説します。DNA 抽出用の個体や組織の採集方法はここでは取り扱いません。なお、環境 DNA とメタゲノム DNA は識別困難ですが、ここでは、環境 DNA を「生物個体から排出された DNA」、メタゲノム DNA を「生物個体から排出されていない DNA」ということにします。したがって、水中の魚類や甲殻類、水生昆虫、水生植物の DNA は環境 DNA であり、微生物の DNA はメタゲノム DNA であることが多いでしょう（ただし、区別できないだけで微生物の環境 DNA も含まれているでしょう）。また、未消化物に含まれる被食者や本人の DNA はどちらにするか難しいところですが、とりあえずメタゲノム DNA ということにしておきます。

### 1.1 サンプルングデザイン

採集地点・時間をどのように配置するかは研究の内容に直結する重要な課題です。ここで研究目的の達成の可否が決まると言っても過言ではありません。そのためには、研究目的の明確化と予備調査が必須です。

例えば、ため池ごとの魚類相と環境条件（池の大きさ、深さ、水質、地質、高度、緯度経度など）との関連性を解明したいが、ため池の中での微細な違いには興味がないケースでは、ため池がよほど小さくない限り、ため池内の数地点から水を採集し、混合して濾過採集することになります。ため池が非常に小さい場合や、ため池内の水が十分に混合されていたり、対象となるため池があまりに多い場合は、1 地点だけでため池を代表させることもあるでしょう。もちろん、余裕があるならため池内の数地点のサンプルを全て別々にして、その気になればため池内の微細な違いをも解析可能にしておくことも悪くありませんが、後述するサンプルレプリケートを複数用意することを考えると、大きな労力が必要となりますので、人手を十分考慮する必要があります。また、その場合はため池内の数地点のサンプル間で DNA 抽出効率・PCR 増幅効率などに大きな違いが生じることがないようにしなければなりません（違う場合は環境条件の影響と言えなくなってしまう）。

別のケースとして、森林の土壌を分析して、微生物叢と植物相の関連性を解明したい場合を考えましょう。この場合、1 地点を広くかつ深く取り、その範囲の土壌を混合して採集するか、その範囲の土壌からいくつかのサブサンプルを採集して混合するのがよいでしょう。土壌では、少し離れただけで全く異なる微生物叢を示すので、ある場の植物相と対応する微生物叢を完全な 1 点では代表することができません。そのため、植物相と対応する範囲の数地点のサブサンプルをプールすることで代表させます。

以上のように、「DNA の拡散する範囲」と「そのサンプルで代表させたい範囲」を考慮して、前者の範囲の方が広くなるようにサンプリングデザインを行う必要があります。後者の範囲の方が広がってしまう場合、研究の目的とする議論が行えなくなることがあります。ただ、後者の範囲の方が広がる場合でも、サンプルが大量にあるのであれば、「本来の生物相」と「サンプルの生物相」との乖離に何らかの偏りが無い限りは目的の議論ができる場合もあるでしょう。

## 1.2 テクニカルレプリケートとネガティブコントロール

1 サンプルを 1 レプリケートで採集した場合、DNA 抽出効率や PCR 増幅効率のばらつきの影響を受けます。また、レアな種のゲノム DNA や低濃度の環境 DNA はサンプルに入ったり入らなかったりすることもあり得ます。そこで、可能であれば複数 (3 以上ならなお良い) のレプリケートを 1 サンプル中に用意することが望ましくなります。このようにすることで、各サンプルごとに種の「発見率」を推定することができます。例えば、1 サンプルが 10 レプリケート含んでいるとき、x 軸をレプリケート数、y 軸を合計種数とする折れ線グラフを描くことを想像してください。10 レプリケートから x 軸のレプリケート数だけ無作為抽出して合計種数を算出して y 軸の合計種数を計算します。このとき、折れ線が傾きゼロの直線なら 1 レプリケートでも発見率は 100% と考えられ、x=1 では傾きゼロではなくとも、x=10 では傾きゼロになっているなら 10 レプリケート合計すれば飽和している＝発見率 100% ということになります。しかし、x=10 でも線が傾いているようであれば、発見率は 100% ではなく、いくらか取りこぼしがあることがわかります。発見率が 100% であることが理想ですが、必ずしもそうである必要はありません。重要なのは、発見率が推定できることです。

## 1.3 水からの濾過採集方法

### 1.3.1 濾過フィルターと濾過方法と固定方法の選定

### 1.3.2 濾過関連機材の塩素漂白の方法

#### 必要な機材

- 水道
- 蛇口に適合するシリコンチューブ (厚さは任意) 1 本
- 漂白剤抜き器 (作成方法は付録 A.1 を参照) 1 個
- 漂白対象物が入る大きさのタッパーやビーカー 1 個
- 防水作業着 1 着

#### 必要な消耗品

- 花王 ハイター E (界面活性剤なしの塩素系漂白剤。次亜塩素酸ナトリウム 6%) 適量
- 使い捨てゴム手袋 1 双
- SPW 適量

### 作業手順

1. 漂白対象物が入る大きさのタッパーやビーカーに漂白対象物を入れる
2. 漂白対象物が浸かるように水道水を注ぐ
3. 水道水の 5-10% 量のハイター E を入れてかき混ぜる
4. 漂白対象物が水に浮く場合、同サイズのタッパーやビーカーを重ねて重しを入れて押さえつける (これができるような形状のタッパーやビーカーを使用する)
5. 時々ゆすりながら 30 分以上、できれば 1 時間以上浸ける (ただし浸け過ぎに注意)
6. 漂白液を捨てて漂白対象物を漂白剤抜き器に移す
7. 漂白剤抜き器のホースニップルと水道の蛇口をシリコンチューブで接続する
8. 水道水を上限まで注いで捨てる
9. 漂白対象物が
  - (a) 水に浮く場合、水道水を勢いよく流しっぱなしにして 30 分以上放置して水を捨てる (水の勢いで漂白対象物が動くようにする)
  - (b) 水に沈む場合、水道水を上限まで注いで捨てることを更に 2 回繰り返す
10. 漂白対象物が入る大きさのタッパーやビーカーに漂白対象物を移す
11. SPW を漂白対象物が浸かるように注いですすいで捨てる
12. 乾燥が必要な場合はアルミホイルに包んで常温-60℃で乾燥する (60℃にする前に一度 200℃以上で庫内を滅菌してから 60℃に下げること)

なお、漂白剤抜き器を漂白対象物が入る大きさのタッパーとして使用しても問題ありません。また、漂白対象物が小さい場合、全ての作業をタッパーやビーカーで行っても構いません。フィルターホルダーはパッキンやアダプタを外して分解し、個別に漂白を行い、漂白後に組み立てます。

### 1.3.3 吸引濾過装置を用いた水からの微生物メタゲノム DNA・環境 DNA の濾過採集方法

#### 必要な機材

- DC12V のシガーソケット搭載車 または AC アダプタ 1 個
- 車載用吸引ポンプユニット (作成方法は付録 A.2 を参照) 1 個
- 吸引濾過装置 (作成方法は付録 A.3 を参照) 1 個
- toolsisland 手動式オイルチェンジャー または メルテック オイルチェンジャー OC-060 1 個
- アズワン 穴付きシリコン栓 8 号 (1-7650-01) の両方の穴に 光 ステンレス丸パイプ 外径 6mm を適当な長さに切断して挿したもの (長さを不揃いにすること) 1 個
- アズワン シリコンチューブ 内径 5mm 外径 11mm 長さ 1m (6-586-19-01) 1 本
- アズワン シリコンチューブ 内径 5mm 外径 11mm 長さ 1m (6-586-19-01) を切断して途中に Whatman VACU-GUARD (6722-5000) を挟んだもの 1 本
- モンキーレンチ 1 本 (ディスクフィルター使用時のみ)
- サンダイヤ デッキ型ピンセット 125mm (アズワン品番 6-531-12) 1 本 (ディスクフィルター使用時のみ)
- ハサミ 1 本

- ライター 1 本
- ゼブラ マッキープロ細字 特殊用途 DX 1 本 (色の薄いハズレ個体がよくあるので予め確認しておく)
- 三菱アルミニウム 三菱ホイル タフ 30cm × 50m 1 本
- ロゴス ハイパー氷点下クーラー M No.81670070 1 個
- ロゴス 倍速凍結・氷点下パック XL No.81660640 2 個以上 (必ず氷点下を維持できる保冷剤を使用すること)

#### 必要な消耗品

- 以下のいずれかの濾過フィルターユニット 1 個/1 サンプル
  - アズワン FH-PP47 (3-6736-01) または ADVANTEC PP-47 に 47mm ディスクフィルターを詰めたもの (漂白で再利用可)
  - Millipore Sterivex-HV 0.45μm PVDF SVHV010RS
  - Millipore Sterivex-GV 0.22μm PVDF SVGV010RS
  - Millipore Sterivex-GP 0.22μm PES SVGP01050
- フィルターユニットに適合するアダプタ (作成方法は付録 A.4 を参照) 1 個/1 サンプル (漂白で再利用可)
- 以下のいずれかのプラスチックバッグ 1 個/1 サンプル
  - カウパック 夢パック 100mL DP16-TN0100
  - カウパック 夢パック 200mL DP16-TN0200
  - カウパック 夢パック 300mL DP16-TN0300
  - カウパック 夢パック 500mL DP16-TN0500
  - カウパック 夢パック 1000mL DP16-TN1000
- 以下のいずれかの使い捨てピーカー 1 個/1 サンプル
  - 大塚刷毛製造 補修用カップ 容器のみ 400mL 3221110400
  - 大塚刷毛製造 補修用カップ 容器のみ 600mL 3221110600
  - 大塚刷毛製造 補修用カップ 容器のみ 800mL 3221110800
  - ビッグ 調色ミキシングカップ 1000mL MK11L
- セイニチ ユニパック C-4 1 枚/1 サンプル
- 使い捨てポリ手袋 2 双/1 サンプル

#### 作業手順

1. 車載用吸引ポンプユニットのバルブは開放しておく
2. 吸引濾過装置のバルブは全て閉じておく
3. シガーソケットに車載用吸引ポンプユニットの電源を接続する
4. 車載用吸引ポンプユニットのホースニップルに VACU-GUARD を取り付けたシリコンチューブ経由で穴付きシリコン栓の短い方のステンレスパイプを接続する
5. 穴付きシリコン栓を手動式オイルチェンジャーのタンクに挿す
6. 穴付きシリコン栓の長い方のステンレスパイプにもう一つのシリコンチューブ経由で吸引濾過装置を接続する
7. ポリ手袋を着ける
8. 使い捨てピーカーで必要量の水試料を量り取り、プラスチックバッグに入れる

9. 濾過フィルターユニットにアダプタを取り付ける (ディスクフィルター使用の場合はモンキーレンチでしっかり締め付ける)
10. アダプタの反対側に水試料の入ったプラスチックバッグを取り付ける (アダプタの接着面に力がかからないように注意すること)
11. プラスチックバッグ+濾過フィルターユニットを濾過フィルターユニットが下になるように吸引濾過装置に取り付け、リピートバンドを締める
12. 吸引濾過装置のバルブ (プラスチックバッグからタンクの経路上のもの) を開ける
13. 車載用吸引ポンプユニットの電源を入れ、水試料を吸引する
14. 水試料吸引開始後、プラスチックバッグ上端にハサミで切り込みを入れる (ハサミが水試料に接さないように注意。必要に応じてハサミをライターで火炎滅菌する)
15. 水試料の吸引が終わったら、吸引濾過装置の濾過フィルターユニット直下のバルブを閉じる
16. リピートバンドを緩めてプラスチックバッグ+濾過フィルターユニットを吸引濾過装置から外す
17. 濾過フィルターユニットからプラスチックバッグを取り外して捨てる (アダプタは残す)
18. 濾過フィルターユニットを再度吸引濾過装置に取り付け、濾過フィルターユニット直下のバルブを開けて濾過フィルターユニット内の残留水を吸引する (濾過フィルターユニットを独楽のように回して吸引する)
19. アルミホイルを適当な長さで切って折り目を付けておく
20. 吸引濾過装置の濾過フィルターユニット直下のバルブを閉じて車載用吸引ポンプユニットの電源を切る
21. 濾過フィルターユニットを吸引濾過装置から外す
22. ポリ手袋を交換する
23. 濾過フィルターユニットが
  - (a) フィルターホルダー+ディスクフィルターの場合、アダプタはそのままにして分解し、フィルターを分解してライターで火炎滅菌したピンセットで濾液入力面を内側にして二つ折りにし、アルミホイルで包んでマッキープロでサンプル情報を記述しユニパックに入れ、クーラーバッグに保冷剤で挟まれるように入れる
  - (b) Sterivex の場合、アダプタを外してマッキープロでサンプル情報を記述し、アルミホイルで包んでからユニパックに入れ、クーラーバッグに保冷剤で挟まれるように入れる (ユニパックにもサンプル情報を記述しておく)
24. ポリ手袋を外して捨てる
25. 吸引濾過装置の両側下部バルブを開放する (吸引濾過装置内の残留水がタンクに吸い込まれる)
26. 手動式オイルチェンジャーのタンクからシリコン栓を外し、中の廃液を捨てる

なお、アズワン FH-PP47 および ADVANTEC PP-47 のパッキンが劣化した場合、シリコンゴムかフッ素ゴム製の AS568-030 型および AS568-033 型の品に交換することができます。ここでは Sterivex をすぐに冷凍する方法を示しましたが、中に RNAlater を注入して両端にキャップ (テルモ テルフュージョン三方活栓キャップ密栓用 XX-WS01K\* および コクゴ 点眼キャップ赤 3 φ 101-5210102) を付けて冷凍・冷蔵・常温保管する方法もあります。海外などで冷凍手段が確保できない場合にはこの方法を用いることになります。

### 1.3.4 シリンジを用いた水からのメタゲノム DNA・環境 DNA の濾過採集方法

#### 必要な機材

- タジマ コンボイ VS CNV-VS

- ゼブラ マッキープロ細字 特殊用途 DX 1 本 (色の薄いハズレ個体がよくあるので予め確認しておく)
- 三菱アルミニウム 三菱ホイル タフ 30cm × 50m 1 本
- ロゴス ハイパー氷点下クーラー M No.81670070 1 個
- ロゴス 倍速凍結・氷点下バック XL No.81660640 2 個以上 (必ず氷点下を維持できる保冷剤を使用すること)

#### 必要な消耗品

- テルモ テルモシリンジ ロック付 50mL SS-50LZ 1 本/1 サンプル
- 大阪魂 丸ワッシャー 特寸 鉄/生地 M17 × 外径 50mm × 厚さ 3.2mm 1 枚/1 サンプル (乾熱滅菌で再利用可)
- 以下のいずれかの濾過フィルターユニット 1 個/1 サンプル
  - Millipore Sterivex-HV 0.45μm PVDF SVHV010RS
  - Millipore Sterivex-GV 0.22μm PVDF SVGV010RS
  - Millipore Sterivex-GP 0.22μm PES SVGP01050
- 以下のいずれかの使い捨てビーカー 1 個/1 サンプル
  - 大塚刷毛製造 補修用カップ 容器のみ 400mL 3221110400
  - 大塚刷毛製造 補修用カップ 容器のみ 600mL 3221110600
  - 大塚刷毛製造 補修用カップ 容器のみ 800mL 3221110800
  - ビッグ 調色ミキシングカップ 1000mL MK11L
- セイニチ ユニパック C-4 1 枚/1 サンプル
- 使い捨てポリ手袋 1 双/1 サンプル

#### 作業手順

1. ポリ手袋を着ける
2. 使い捨てビーカーで必要量の水試料を量り取る
3. シリンジにビーカーから水試料 50mL を吸い取る (水に浸かるシリンジ先端 3cm 程度は触れないようにする)
4. シリンジのルアーロック部に Sterivex を取り付けてワッシャーに通す
5. Sterivex が先端から突き出すようにコーキングガンにセットする
6. コーキングガンの引き金を引いて加圧濾過する
7. シリンジ + Sterivex をコーキングガンから外す
8. Sterivex とシリンジを分離する
9. 必要量に達するまで 3 に戻って繰り返す
10. 必要な水量の濾過が終わったら、シリンジに空気をめいっぱい吸引する
11. シリンジのルアーロック部に Sterivex を取り付けてワッシャーに通す
12. Sterivex が先端から突き出すようにコーキングガンにセットする
13. Sterivex が下になるように垂直に立ててコーキングガンの引き金を引き、できるだけ Sterivex 内の水を抜く
14. シリンジ + Sterivex をコーキングガンから外す
15. Sterivex とシリンジを分離する
16. Sterivex をアルミホイルで包んでから、マッキープロでサンプル情報を記述したユニパックに入れ、クーラーバッグに保冷剤で挟まれるように入れる



## 17. ポリ手袋を外して捨てる

ここでは Sterivex をすぐに冷凍する方法を示しましたが、中に RNAlater を注入して両端にキャップ (テルモ テルフュージョン三方活栓キャップ密栓用 XX-WS01K\* および コクゴ 点眼キャップ赤 3 φ 101-5210102) を付けて冷凍・冷蔵・常温保管する方法もあります (RNAlater を注入しない場合も DNA 抽出時にはキャップを使用することになるので、採集時に付けておくのも良いでしょう)。海外などで冷凍手段が確保できない場合にはこの方法を用いることになります。



## 第 2 章

# DNA 抽出・ライブラリ調製・シーケンシング

### 2.1 機材・試薬の滅菌と DNA 分解によるコンタミネーションの抑制

使用する機材や試薬は、以下のようにいくつかの方法を用いて滅菌および DNA 分解を行うことでコンタミネーションを抑制します。

金属製またはフッ素樹脂機材 オープンを用いて乾熱滅菌する。250℃で 30 分。

ガラスまたはフェノール樹脂機材 オープンを用いて乾熱滅菌する。200℃で 4 時間。

PBT 樹脂機材 オープンを用いて乾熱滅菌する。180℃で 8 時間。

その他のプラスチック機材 タライで塩素漂白する。20 倍希釈漂白液で 1 時間。

乾熱滅菌、塩素漂白できない機材 DNA-OFF を染み込ませたペーパータオルで拭き取る。

試薬 ガラス瓶に入れてオートクレーブして冷まし、クリーンベンチ内で紫外線を照射する。

ただし、当該処理を行うと著しく劣化したり分解する場合は行わないように注意すること。マイクロピペットなどはオートクレーブ可能なものでも、あまり繰り返すと劣化が早まるので、DNA-OFF を染み込ませたペーパータオルで使用する度に拭き取るようにします。実験台は、使用前に無水エタノールを吹き付けてペーパータオルで拭き取り、使用後に DNA-OFF を染み込ませたペーパータオルで拭き取ります。遠心機は、トミー精工の MX シリーズ・MDX シリーズを用いると、樹脂製のローターが使用できるため、塩素漂白が可能です。15mL 遠沈管や Sterivex の遠心には、トミー精工 LCX-200 に TS-33C スイングローターと B433 バケット、3315-TC04P ラックの組み合わせや、久保田商事 Model 4000 に ST-2504MS スイングローターと 055-1160 ラックの組み合わせ、himac CT6E に T5SS スイングローターと S409814A ラックの組み合わせが便利です。これらの製品はラックが樹脂製のため、塩素漂白が可能です (ただし、メーカーは推奨していない場合があります)。DNA 抽出・PCR 前の準備を行う部屋と、PCR および PCR 後の操作を行う部屋は分離し、相互に行き来をしない、あるいは行き来をする場合も各部屋専用の白衣、マスク、キャップを使用するなど、PCR による増幅後の DNA のコンタミネーションに細心の注意を払う必要があります。DNA 抽出では汚れたものも扱うため、DNA 抽出と PCR 前の準備もできれば別の部屋に分けた方が良いでしょう。クリーンベンチを活用すれば部屋数は減らせますが、少なくとも PCR 前と PCR 以降で 2 部屋は必要です。

## 2.2 テクニカルレプリケートとネガティブコントロール

## 2.3 DNA抽出

### 2.3.1 47mm グラスファイバーフィルターからの DNA 抽出プロトコル

必要な機材

- 

必要な試薬・消耗品

- 

作業手順

- 1.

### 2.3.2 47mm 非グラスファイバーフィルターからの DNA 抽出プロトコル

必要な機材

- 

必要な試薬・消耗品

- 

作業手順

- 1.

### 2.3.3 ステリベクスからの DNA 抽出プロトコル

必要な機材

- 

必要な試薬・消耗品

- 

作業手順

- 1.

### 2.3.4 磁気ビーズを用いた DNA の精製プロトコル

必要な機材

- 

必要な試薬・消耗品

- 

作業手順

- 1.

## 2.4 ライブラリ調製

必要な機材

-

必要な試薬・消耗品

- 

作業手順

- 1.

### 2.4.1 プライマーの設計と発注の方法

必要な機材

- 

必要な試薬・消耗品

- 

作業手順

- 1.

### 2.4.2 ユニバーサルプライマーを用いた PCR のプロトコル (泳動用)

必要な機材

- 

必要な試薬・消耗品

- 

作業手順

- 1.

### 2.4.3 アガロースゲル電気泳動のプロトコル

必要な機材

- 

必要な試薬・消耗品

- 

作業手順

- 1.

### 2.4.4 ユニバーサルプライマーを用いた PCR のプロトコル (本番用)

必要な機材

- 

必要な試薬・消耗品

- 

作業手順

- 1.

### 2.4.5 磁気ビーズを用いた PCR 産物の精製プロトコル

必要な機材

-

必要な試薬・消耗品

- 

作業手順

- 1.

#### 2.4.6 Exonuclease I を用いた PCR 産物の精製プロトコル

必要な機材

- 

必要な試薬・消耗品

- 

作業手順

- 1.

#### 2.4.7 アダプターを付加する PCR のプロトコル

必要な機材

- 

必要な試薬・消耗品

- 

作業手順

- 1.



#### 2.4.8 インデックスと P5・P7 アダプターを付加する PCR のプロトコル

必要な機材

- 

必要な試薬・消耗品

- 

作業手順

- 1.

#### 2.4.9 磁気ビーズを用いた PCR 産物の濃度均一化

必要な機材

- 

必要な試薬・消耗品

- 

作業手順

- 1.

#### 2.4.10 E-Gel SizeSelect によるサイズ選択

必要な機材

-

必要な試薬・消耗品

- 

作業手順

- 1.

## 2.5 ライブラリのクオリティチェック

### 2.5.1 Qubit による濃度測定と希釈

必要な機材

- 

必要な試薬・消耗品

- 

作業手順

- 1.

### 2.5.2 Bioanalyzer による電気泳動

必要な機材

- 

必要な試薬・消耗品

-

#### 作業手順

- 1.

## 2.6 MiSeq によるシーケンス

#### 必要な機材

- 

#### 必要な試薬・消耗品

- 

#### 作業手順

- 1.



## 引用文献



## 付録 A

# DNA 採集関連機材の自作

### A.1 漂白剤抜き器の作成

#### 必要な機材

- 電動ドリル: 1 台
- ドリルビット 22mm: 1 本
- ドリルビット 10mm: 1 本
- モンキーレンチ (先端がベントしているものが使いやすい): 1 本

#### 必要な部材

- アスベル ユニックス キッチンボックス S-70 または 岩崎工業 ラストロ ジャンボケースロック式 B-893: 1 個
- アラム PVC ニップル: 1 個
  - ホース内径 9-10mm 2009-21
  - ホース内径 12mm 2009-22
  - ホース内径 15mm 2009-23
  - ホース内径 19mm 2009-24
  - ホース内径 25mm 2009-25
- アラム PVC ナット 2009-31: 1 個
- アラム PVC ニップル・ナット用パッキン シリコンゴム 10 個入 2009-41: 1 袋 (1 袋 10 個のうちの 2 個)

#### 作業手順

1. コンテナのフタを外し、短辺の中央から 10cm の場所に 22mm の穴を開ける
2. 穴を開けたのと反対側の端に 10mm の穴を 10mm 間隔で 7 つ開ける
3. 22mm の穴を利用して、容器の内側に PVC ナットとパッキン、容器の外側に PVC ニップルとパッキンを取り付けてネジを締める

使用時は中に漂白対象物を入れて、蛇口に繋げたホースをニップルに接続して水道水を勢いよく注ぐ (圧が上がりすぎないように注意)。

## A.2 車載用吸引ポンプユニットの作成

### 必要な機材

- 電装圧着工具 (電工ペンチ): 1 個
- ハサミ: 1 個
- カッターナイフ: 1 個
- 電動ドリル: 1 台
- ドリルビット 7mm: 1 個

### 必要な部材

- エーモン工業 電源プラグ 1537: 1 個
- エーモン工業 ギボシ端子セット 8 セット入 1151: 1 パック (1 パック 8 セット中の 4 セット)
- エーモン工業 ダブルコード 1182: 1 巻
- 日東工器 真空ポンプ DP0410-X1 DC12V: 1 台
- アソー エースニップル PT1/8 ネジ 7mm ニップル HN-7107: 1 個
- アズワン シリコンチューブ 内径 6mm 外径 12mm 長さ 1m (6-586-23-01): 1 本
- アソー エースニップル PT3/8 ネジ 7mm ニップル HN-7307: 2 個
- モノタロウ ねじ込みチーズ ステンレス製 PT3/8 ネジ (07334205): 1 個
- モノタロウ ねじ込みブッシング ステンレス製 PT3/8 × 1/4 ネジ (07334442): 1 個
- 右下精器製造 小型真空計 AT1/4Rx50x-0.1MPa: 1 個
- 岩崎工業 ラストロ キーパー B-322: 1 個
- PTFE シールテープ: 1 巻

### 作業手順

1. 電源プラグとダブルコードをギボシ端子で接続する (+と-を間違えないよう注意する)
2. 真空ポンプのコードのうち、赤を+に、黒を-になるようにダブルコードをギボシ端子で接続する
3. HN-7107 のネジ部分にシールテープを巻き、真空ポンプの吸込口 (電源コードから離れている方) に取り付ける
4. HN-7107 に 15cm 程度に切ったシリコンチューブを取り付ける
5. 真空ポンプを電源コード接続端子が短辺側になるよう B-322 に入れる
6. 真空ポンプのコードが引き出せる隙間を B-322 の短辺に切り込みを入れる
7. ねじ込みチーズの両端にシールテープを巻いた HN-7307 を取り付ける
8. ねじ込みチーズの中央にシールテープを巻いたねじ込みブッシングを取り付ける
9. ねじ込みブッシングにシールテープを巻いた真空計を取り付ける



10. B-322 の真空ポンプから遠い側に直径 7mm の穴を開ける
11. ねじ込みチーズの一方のニップルを真空ポンプに繋がっているシリコンチューブに接続し、もう一方を B-322 の穴に通す

収納時は電源コードは B-322 内に収められます。使用時は切り込みからコードを出すようにします。ただし、ポンプが発熱するので使用時はフタは乗せる程度で、しっかり閉じないようにしてください。中の空間には、サンプリングに使用するハサミやライター、ピンセットが収納できます。

## A.3 吸引濾過装置の作成

### 必要な機材

- 電動ドリル: 1 台
- ドリルビット 21mm: 1 個
- ドリルビット 5mm: 1 個

### 必要な部材

- 光 ポリカ中空ボード 450 × 600 × 4mm KTP6044W-1: 1 枚
- カクダイ ヘッダー 4 分岐 682-013-4 または 三栄水栓製作所 ヘッダー 4 分岐 T671N-4-20: 1 個
- モノタロウ ねじ込みブッシング ステンレス製 PT3/4 × 1/2 ネジ (07334485): 2 個
- アソー エースニップル PT3/8 ネジ 7mm ニップル HN-7307: 6 個
- アソー エースボール ストレート 外・内ネジ型 PT1/2 × PF3/8 ネジ BM-2043: 6 個
- アイシス ルアーフィッティング VRM606: 4 個
- アロン化成 TS チーズ 呼び径 13: 4 個
- アロン化成 TS 給水栓用ソケット 呼び径 13: 4 個
- アロン化成 TS バルブソケット 呼び径 13: 4 個
- アロン化成 塩ビパイプ VP 1m 呼び径 13: 1 本
- モノタロウ リピートバンド 耐候タイプ 幅 4.8mm 長さ 301mm 100 本入 R280-BK: 1 袋 (1 袋 100 本のうち 4 本)
- モノタロウ ケーブルタイ 耐候タイプ 幅 4.8mm 長さ 288mm 100 本入 290-BK: 1 袋 (1 袋 100 本のうち 10 本)
- アズワン シリコンチューブ 内径 6mm 外径 12mm 長さ 1m (6-586-23-01): 1 本

### 作業手順

- 1.

## A.4 プラスチックバッグと濾過フィルターユニットの接続アダプタの作成

必要な機材

- 

必要な部材

- 

作業手順

- 1.

## 付録 B

# 試薬の調製

### B.1 DNA・RNA 固定液の調製

RNAlater の代用品として?でレシピが紹介されているもの。RNAlater と同様に使用することができます。

#### B.1.1 1M クエン酸ナトリウム

##### 必要な機材

- 電子天秤: 1 台
- 100mL 広口ガラス瓶: 1 個
- 100mL メスシリンダー: 1 個
- 300mL ビーカー: 1 個
- 10mL チップ対応ピペット: 1 本

##### 必要な試薬・消耗品

- クエン酸 3 ナトリウム 2 水和物: 29.4g
- SPW: 70mL
- SPW: 適量
- SPW: 10mL
- SPW: 適量
- 10mL チップ: 1 本

### 作業手順

1. クエン酸 3 ナトリウム 2 水和物 29.4g をビーカーで量り取り、SPW 70mL を加えて混ぜつつメスシリンダーに移す
2. SPW で 90mL 弱にメスアップする
3. SPW 10mL でビーカーをすすいでメスシリンダーに加え、さらに SPW で 100mL にメスアップしてオートクレーブ
4. 触れる温度まで下がったら、ガラス瓶の蓋をしっかりと閉めてよく振り、結晶を完全に溶かす
5. 常温保管

## B.1.2 DNA・RNA 固定液

### 必要な機材

- 電子天秤: 1 台
- 1L 広口ガラス瓶: 1 個
- 100mL メスシリンダー: 1 個
- 500mL ビーカー: 1 個
- 1L ビーカー: 1 個
- 10mL チップ対応ピペット: 1 本
- pH メーター: 1 台

### 必要な試薬・消耗品

- 1M クエン酸ナトリウム: 12.5mL
- 0.5M EDTA pH8.0: 20mL
- 硫酸アンモニウム: 350g
- SPW: 350mL
- SPW: 50mL
- SPW: 67.5mL
- 1M 硫酸または濃硫酸: 適量
- 10mL チップ: 3 本

### 作業手順

1. 硫酸アンモニウム 350g をビーカーで量り取り、SPW 350mL を加えつつ広口ガラス瓶に移す (100g ずつ複数回に分けて行う。大型の秤量皿があれば使用した方がよい)
2. SPW 50mL でビーカーをすすいで広口ガラス瓶に追加する

3. 1M クエン酸ナトリウム 12.5mL をガラス瓶に加える
4. 0.5M EDTA pH8.0 20mL をガラス瓶に加える
5. SPW 67.5mL をガラス瓶に加える
6. 湯煎かオートクレーブで結晶を完全に溶かす
7. 1L ビーカーに中身を移し、1M 硫酸または濃硫酸を少しずつ加えて pH5.2 にする (濃硫酸で 1mL 以下)
8. 広口ガラス瓶に戻し、オートクレーブ
9. 常温保管

## B.2 DNA 抽出用試薬の調製

以下の試薬は、Canadian Centre for DNA Barcoding (CCDB) が公開している 96 ウェルガラスファイバープレートを用いた DNA 抽出方法 (?) で使用されているものです。本書では、96 ウェルガラスファイバープレートは容量やコンタミネーションリスクのため使用しませんが、スピncラムを用いるのでこれらの試薬をそのまま使用できます。

### B.2.1 1M NaCl

#### 必要な機材

- 電子天秤: 1 台
- 500mL 広口ガラス瓶: 1 個
- 500mL メスシリンダー: 1 個
- 500mL ビーカー: 1 個

#### 必要な試薬・消耗品

- NaCl 分子生物学用: 29.22g
- SPW: 500mL
- SPW: 適量

#### 作業手順

1. メスシリンダーで SPW 500mL を量り取る
2. 広口ガラス瓶に SPW 500mL を移して 500mL の計量線を引く
3. 広口ガラス瓶からメスシリンダーに SPW 400mL を移して、残りは捨てる
4. NaCl 29.22g をビーカーで量り取り、広口ガラス瓶からビーカーに SPW を適量加えて再度広口ガラス瓶に戻す
5. SPW で 500mL にメスアップしてオートクレーブ
6. 常温保管

### B.2.2 0.1M Tris-HCl pH6.4

#### 必要な機材

- 電子天秤: 1 台
- 500mL 広口ガラス瓶: 1 個
- 500mL メスシリンダー: 1 個
- 500mL ビーカー: 1 個
- pH メーター: 1 台

#### 必要な試薬・消耗品

- トリスアミノメタン: 6.06g
- 1M HCl 分子生物学用: 適量
- SPW: 500mL
- SPW: 適量
- 秤量皿: 1 枚

#### 作業手順

1. メスシリンダーで SPW 500mL を量り取る
2. 広口ガラス瓶に SPW 500mL を移して 500mL の計量線を引く
3. 広口ガラス瓶からメスシリンダーに SPW 100mL を移して、残りは捨てる
4. トリスアミノメタン 6.06g をビーカーで SPW 100mL に溶かす
5. 1M HCl を加えて pH 6.4–6.5 にする
6. SPW で 500mL にメスアップしてオートクレーブ
7. 常温保管

### B.2.3 Insect Lysis Buffer

#### 必要な機材

- 電子天秤: 1 台
- 500mL 広口ガラス瓶: 1 個
- 500mL メスシリンダー: 1 個
- 500mL ビーカー: 1 個
- 10mL チップ対応ピペット: 1 本

## 必要な試薬・消耗品

- グアニジンチオシアン酸塩: 41.25g
- 0.5M EDTA pH8.0: 30mL
- 1M Tris-HCl pH8.0: 15mL
- Triton X-100: 2.5mL
- Tween-20: 25mL
- SPW: 500mL
- SPW: 適量
- 10mL チップ: 4 本

## 作業手順

1. メスシリンダーで SPW 500mL を量り取る
2. 広口ガラス瓶に SPW 500mL を移して 500mL の計量線を引く
3. 広口ガラス瓶からメスシリンダーに SPW 200mL を移して、残りは捨てる
4. グアニジンチオシアン酸塩 41.25g をビーカーで量り取り、SPW 200mL を加えつつ広口ガラス瓶に移す
5. 0.5M EDTA pH8.0 30mL、1M Tris-HCl pH8.0 15mL、Triton X-100 2.5mL、Tween-20 25mL を加える
6. SPW で 500mL にメスアップしてオートクレーブ (グアニジンチオシアン酸塩はこのとき溶ける)
7. 常温保管

## B.2.4 Column Binding Buffer

## 必要な機材

- 電子天秤: 1 台
- 500mL 広口ガラス瓶: 1 個
- 500mL メスシリンダー: 1 個
- 500mL ビーカー: 1 個
- 10mL チップ対応ピペット: 1 本

## 必要な試薬・消耗品

- グアニジンチオシアン酸塩: 354.6g
- 0.5M EDTA pH8.0: 20mL
- 0.1M Tris-HCl pH6.4: 50mL
- Triton X-100: 20mL
- SPW: 500mL

- SPW: 適量
- 10mL チップ: 3 本

#### 作業手順

1. メスシリンダーで SPW 500mL を量り取る
2. 広口ガラス瓶に SPW 500mL を移して 500mL の計量線を引く
3. 広口ガラス瓶からメスシリンダーに SPW 200mL を移して、残りは捨てる
4. グアニジンチオシアン酸塩 354.6g をビーカーで量り取り、SPW 200mL を加えつつ広口ガラス瓶に移す (100g ずつ複数回に分けて行う。大型の秤量皿があれば使用した方がよい)
5. 0.5M EDTA pH8.0 20mL、0.1M Tris-HCl pH6.4 50mL、Triton X-100 20mL を加える
6. SPW で 500mL にメスアップしてオートクレーブ (グアニジンチオシアン酸塩はこのとき溶ける)
7. 常温保管 (使用直前に 56 °C に加熱して析出した塩を溶かして使用)

### B.2.5 Wash Buffer

#### 必要な機材

- 100 $\mu$ L チップ用マイクロピペット: 1 本
- 1000 $\mu$ L チップ対応マイクロピペット: 1 本
- 10mL チップ対応ピペット: 1 本

#### 必要な試薬・消耗品

- 50mL 遠沈管: 1 本
- 99.5% エタノール 分子生物学用: 30mL
- 1M NaCl: 2375 $\mu$ L
- 1M Tris-HCl pH7.5–7.6: 475 $\mu$ L
- 0.5M EDTA pH8.0: 47.5 $\mu$ L
- SPW: 14.6mL
- SPW: 適量
- 100 $\mu$ L チップ: 1 本
- 1000 $\mu$ L チップ: 3 本
- 10mL チップ: 1 本

#### 作業手順

1. 50mL 遠沈管で材料を混ぜる



2. SPW で 47.5mL にメスアップする
3. -20 °C で保管

## B.3 PCR 産物精製用磁気ビーズ液 (MagNA) の調製

AMPureXP の代用品。?の Supplement にレシピが掲載されています。

### 必要な機材

- 電子天秤: 1 台
- 1.5mL または 2mL チューブ用磁気スタンド (強力なネオジム磁石があれば、チューブラックの横に貼る程度でよい): 1 台
- 200 $\mu$ L チップ用マイクロピペット: 1 本
- 1000 $\mu$ L チップ対応マイクロピペット: 1 本

### 必要な試薬・消耗品

- 50mL 遠沈管: 1 本
- 1.5mL または 2mL チューブ: 1 本
- GE Healthcare Sera-Mag SpeedBeads Carboxylate-Modified Magnetic Particles (Hydrophobic) (65152105050250): 1mL
- TE: 3mL
- PEG8000 分子生物学用: 9g
- NaCl 分子生物学用: 2.92g
- 1M Tris-HCl pH8.0: 500 $\mu$ L
- 0.5M EDTA pH8.0: 100 $\mu$ L
- SPW: 適量
- 200 $\mu$ L チップ: 1 本
- 1000 $\mu$ L チップ: 6 本
- 秤量皿: 2 枚

### 作業手順

1. 50mL 遠沈管に SPW を 50mL 注いで、その遠沈管の 50mL の計量線を引く
2. SPW を 10mL 程度捨てる
3. PEG8000 9g と NaCl 2.92g を加える
4. 1M Tris-HCl pH8.0 500 $\mu$ L と 0.5M EDTA pH8.0 100 $\mu$ L を加える
5. SPW で 45mL までメスアップして PEG8000 と NaCl を完全に溶かす

6. 1.5mL または 2mL チューブによく転倒混和した Sera-Mag SpeedBeads を 1mL 取る
7. 磁気スタンドに立てて 5 分待つ
8. 上澄みを吸い取って捨てる (アジ化ナトリウムを含むので取扱に注意)
9. TE 1mL を加えて磁気スタンドから外し、よく転倒混和する
10. 磁気スタンドに立てて 5 分待つ
11. 上澄みを吸い取って捨てる
12. TE 1mL を加えて磁気スタンドから外し、よく転倒混和する
13. 磁気スタンドに立てて 5 分待つ
14. 上澄みを吸い取って捨てて磁気スタンドから外す
15. TE 1mL を加えてビーズを懸濁し、全量を 5 の遠沈管に加える
16. 50mL 遠沈管の中身を SPW で 50mL までメスアップする
17. 遮光して冷蔵保管

## B.4 PCR 産物濃度均一化用磁気ビーズ液の調製

??で使用されている濃度均一化用磁気ビーズ液を Sera-Mag SpeedBeads で再現したもの。元文献では AMPureXP から磁気ビーズを回収して作成しているため、こちらの方がずっと低コストです。

### 必要な機材

- 電子天秤: 1 台
- 1.5mL または 2mL チューブ用磁気スタンド (強力なネオジム磁石があれば、チューブラックの横に貼る程度でよい): 1 台
- 200 $\mu$ L チップ用マイクロピペット: 1 本
- 1000 $\mu$ L チップ対応マイクロピペット: 1 本

### 必要な試薬・消耗品

- 50mL 遠沈管: 1 本
- 1.5mL または 2mL チューブ: 1 本
- GE Healthcare Sera-Mag SpeedBeads Carboxylate-Modified Magnetic Particles (Hydrophobic) (65152105050250): 200 $\mu$ L
- TE: 2.5mL
- PEG8000 分子生物学用: 10g
- NaCl 分子生物学用: 7.3g
- SPW: 適量
- 200 $\mu$ L チップ: 1 本
- 1000 $\mu$ L チップ: 3 本
- 秤量皿: 2 枚

## 作業手順

1. 50mL 遠沈管に SPW 50mL を注いで、その遠沈管の 50mL の計量線を引く
2. SPW を 10mL 程度捨てる
3. PEG8000 10g と NaCl 7.3g を加える
4. SPW で 45mL までメスアップして PEG8000 と NaCl を完全に溶かす
5. SPW で 50mL までメスアップする
6. 1.5mL または 2mL チューブによく転倒混和した Sera-Mag SpeedBeads を 200 $\mu$ L 取る
7. TE 500 $\mu$ L を加えてピペッティングして混ぜ、磁気スタンドに立てて 5 分待つ
8. 上澄みを吸い取って捨てる (アジ化ナトリウムを含むので取扱に注意)
9. TE 1mL を加えて磁気スタンドから外し、よく転倒混和する
10. 磁気スタンドに立てて 5 分待つ
11. 上澄みを吸い取って捨てる
12. TE 1mL を加えて磁気スタンドから外し、よく転倒混和する
13. 磁気スタンドに立てて 5 分待つ
14. 上澄みを吸い取って捨てて磁気スタンドから外す
15. 5 の溶液 1mL をチューブに加えてビーズを懸濁し、全量を 5 の遠沈管に戻す
16. 透明な部分の 5 の溶液 1mL をチューブに加えて残っているビーズを懸濁し、全量を 5 の遠沈管に戻して転倒混和する
17. 遮光して冷蔵保管