

平成 27 年度

海洋学実習 II テキスト



学籍番号	
氏名	

目次

1. はじめに	3
1.1 実習の目的	3
1.2 服装等	3
1.3 船内生活	3
1.4 実習概要	4
2. 観測計画	6
2.1 海域および観測点	6
2.2 観測点における行動	7
3. 観測方法	8
3.1 CTD/Rosette Multi-bottle Samplers(CTD/RMS)システム	8
3.2 CTD-RMS オペレーション	13
3.3 ニスキン採水器による採水・バケツによる海面水の採水	13
① DO 用採水	14
② DO の固定	14
③ 塩分測定用採水	14
④ PO_4^{3-} 測定用採水	14
⑤ Chl <i>a</i> 測定用採水	14
3.4 光学的目視観測	15
① 透明度	15
② 水色	15
3.5 海洋生物の採集	15
① NORPAC ネットの曳網	15
② ORI ネットの曳網	16
4. 測定方法	18
4.1 塩分の測定(鶴見精機 DIGI-AUTO MODEL-5)	18
4.2 溶存酸素の測定(ウィンクラー法)	35
4.3 リン酸塩の測定(Murphy and Riley 法)	39
4.4 クロロフィルおよびフェオ色素の測定(蛍光法)	41
5. 解析および成果発表	43
5.1 データ整理と共有	43
5.2 解析	43
5.3 考察	43
5.4 成果発表とレポート作成	43
地衡流について	44
地衡流計算の感覚的理解	46
地衡流計算	48
付録 2	
ちよっとひと休み(その 1)	55
ちよっとひと休み(その 2)	56
ちよっとひと休み(その 3)	57
付録 3	
代表的な結索法	59
付録 4	
海洋観測指針(第1部)【抜粋】	62

1. はじめに

1.1 実習の目的

海洋学は、ありのままの海洋を研究する基礎科学である。海洋は、海水の動きや熱の収支などの物理的過程、物質の分布、輸送と変化などの化学的過程、生物群集の動態や代謝についての生物的過程が相互に密接に関連しあって成り立っている大きなシステムである。海洋変動と気候変動、環境変動には複雑な相互作用がある。また、沿岸海域の水質汚濁や生態系の変化など、地域的な環境問題に対しても、海洋システムの挙動が密接に関係している。ありのままの海洋を捉えるためには、正確な海洋データを取得するが必要であり、海洋観測、海水の分析は海洋学に必要な不可欠である。海洋学実習 II では、

- 1) 大学、官公庁、研究機関等が行っている船舶による海洋観測
- 2) 観測を実施する船の装備や観測機器、分析装置の取り扱い方法
- 3) 海水分析(塩分、溶存酸素濃度、リン酸濃度、クロロフィル濃度)、大規模な海流(地衡流)
- 4) 観測、分析結果を解析し、成果のまとめかた
- 5) 船内生活の基本、甲板作業時の安全確保方法

について学ぶ。観測とは、作業ではなく、文字通り、よく「観」て「測」る、壮大なる海を実験室とした一期一会の活動である。海洋学実習 II を、教室での講義・演習・実験では得られない貴重な体験として欲しい。

1.2 服装等

◎観測・作業時

甲板上および船内作業時の服装は汚れてもよいものを着用すること。長袖、長ズボン、踵がある運動靴(靴下をはき、足首の肌が露出しないもの)、帽子(サンバイザーは不可)とする。必要に応じてサングラスは着用可とし、観測時には衣服および靴が濡れることを考慮して雨具および長靴を用意すること。なお、靴底はすべりにくい耐油性のものが望ましく、サンダルおよび半ズボンは厳禁する。甲板での作業では、ヘルメットとライフジャケット(どちらも船に備えてある)、手袋(開講時に配給する)を着用する。

◎生活時

船内の服装(生活時)は、上下ともに半・長袖、運動靴(居室はサンダルも可)とするので温度環境に対応できるものを用意する。

1.3 船内生活

起床は 06:00。06:30 からラジオ体操を行い、甲板、居室の掃除を行う。朝食は 07:30、昼食は 11:30、夕食は 17:00。食卓の準備、後片付け、食器洗いは食事当番が行う。船のシャワーは指示に従って使用する。

常に節水に心掛けること。清水は貴重である。

乗組員は、航海中は通常 0-4 時、4-8 時、8-0 時の 4 時間勤務を 1 日 2 回行う(本実習航海のような短期間の航海、あるいは作業が昼間に限られている場合には必ずしもこのとおりではない)。このため、休息中の乗組員がいない時間はないので、休息の妨げにならないよう注意する(ドアは静かに閉める。船内では大きな声を出さない、足音をたてないようにすること)。

実習中は禁酒。指定された場所以外は禁煙。

教員、船長、士官の指揮命令、乗組員の指示に従う。

事故を起こすような行為は、絶対に行ってはならない。

1.4 実習概要

全体の予定については、表1を参照。但し、海況によってスケジュールは変更となる場合がある。

①採水

CTD/Rosette Multi-bottle Samplers 観測【以下、CTD/RMS 観測】、ニスキン採水器より採水

②透明度・水色の観測

③バケツ採水観測

[海面水とは、よく混合した表層 1-2 m 間の海水]

④海況観測

⑤生物・プランクトン採集

NORPAC ネット, ORI ネット, 濾水計(フローメーター)の確認

⑥現場観測機器

- 1) 水温(水深): XBT (eXpendable Bathy-Thermograph, 投下式水温水深計)
- 2) 水温, 電導度(塩分), 圧力(水深)計: CTD
- 3) 現場式蛍光光度計(クロロフィル計)
- 4) 光束透過率計(濁度計)

⑦航走測定器の説明

- 1) 音響式ドップラー流速プロファイラー (ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler)
- 2) 音響測深儀 (echo sounder)

⑧水質測定

- 1) 塩分
- 2) 溶存酸素(ウィンクラー法)【以下, DO】
- 3) 栄養塩(比色定量)ーリン酸塩 (Murphy and Riley 法)【以下, PO_4^{3-} 】
- 4) クロロフィル *a* (蛍光法)【以下, Chl *a*】

⑨解析

水温, 塩分, 密度, DO, PO_4^{3-} , Chl *a*, 流速, 気象データ, 衛星データ, 降水量データなど. 作図は手書きとするが, 解析には PC を用いてもよい. (各班で1台用意すること)

⑩成果発表

解析結果に基づき, 本実習の成果発表会を行う(各班毎).

⑪その他

ブリッジ・機関室の見学, ロープワーク, 神奈川県水産試験場訪問

表 1 予定(海況が良い場合)

Day	Time	事 項
1	08:30	神鷹丸に集合(豊海水産埠頭)
	09:00	開講式
	10:00	出港
		船内における諸注意事項, 退船訓練, ベッドメイク
	13:00	観測方針, 作業内容および分析方法等の説明
	14:00 頃	東京湾湾口にて CTD-RMS+塩分検定用サンプルの採水
	16:00 頃	黒潮横断観測開始. 各観測点では, CTD 観測+ロゼット採水, バケツ採水, NORPAC ネット鉛直曳き, 透明度測定(各班 2 回)
2	09:00 頃	黒潮横断観測終了.
	11:30 頃	海況が良く, その他の条件が整っている場合, 八丈島入港
	16:00	八丈島出港
	17:00~ 19:00	ORI 観測
	19:00	分析(塩分, DO, PO ₄ ³⁻ , Chl <i>a</i>)
	23:00	消灯
	3	06:00
06:30		体操, デッキウォッシュ, 掃除
午前		三崎港入港
終日		分析, 解析, 発表準備, レポート作成
23:00		消灯
4	06:00	起床
	終日	分析, 解析, 発表会準備, レポート作成
		神奈川県水産試験場訪問見学の可能性あり.
	23:00	消灯
5	06:00	起床
	06:30	体操, 掃除
	08:30	三崎港出港
	午前	発表会
	13:00	豊海水産埠頭入港
	13:30	レポート提出
	14:00	船内清掃, シーツ回収
	14:30	閉講式
	15:00	解散

* 食事時刻:朝食(07:30), 昼食(11:30), 夕食(17:00)

※ 三崎港で入湯上陸の可能性があるため, そのための経費を持参すること.

2. 観測計画

2.1 海域および観測点

図1に観測海域とCTD/RMS観測点, ORI ネット観測実施海域を示す. 海況により海域・観測内容が変更となる場合がある.

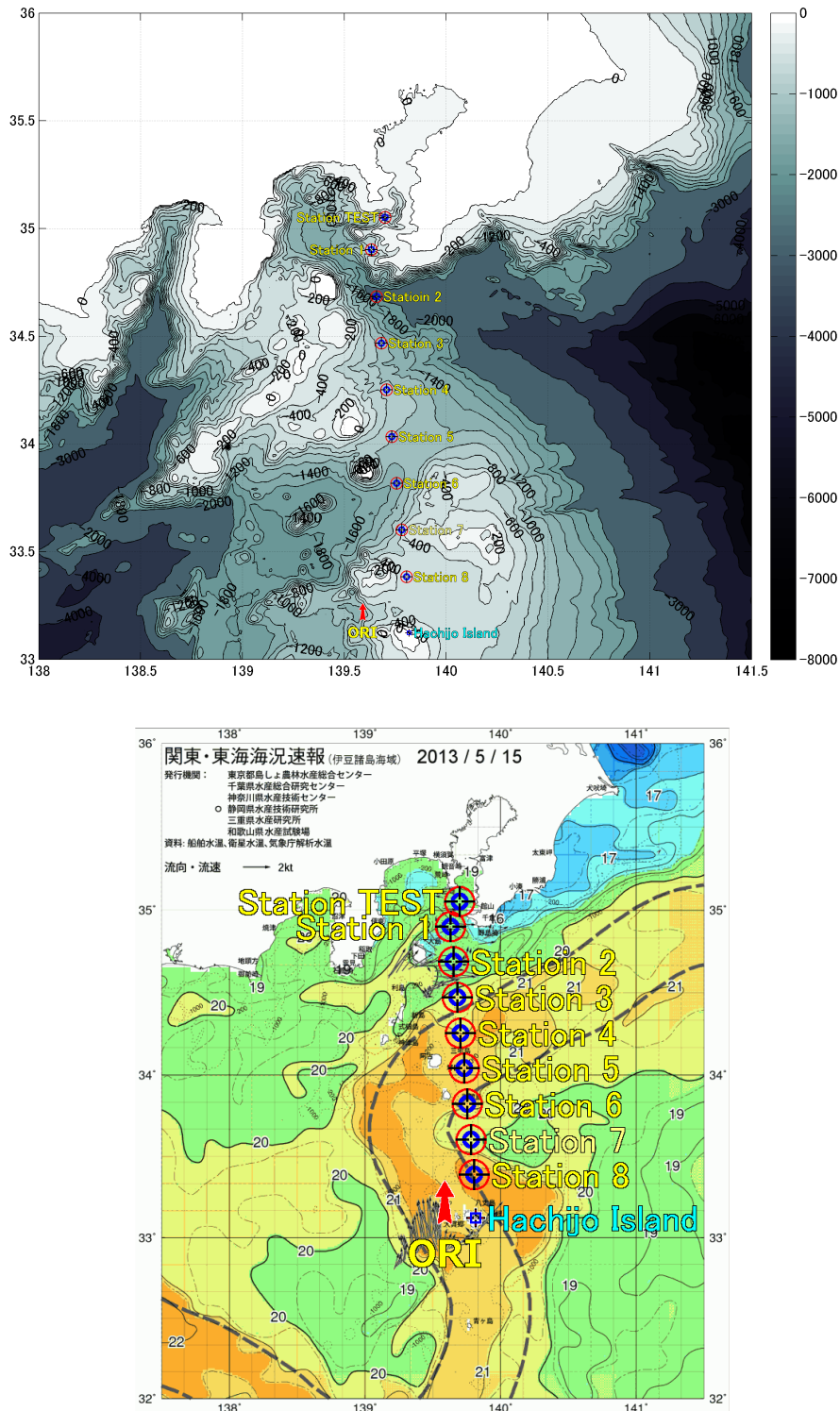


図1. 観測海域図(CTD/RMS観測およびORI ネット観測海域)(計画). 背景は, 海底地形(上段), 2013年5月15日の海面水温(下段)

表 2: CTD/RMS 観測点 (計画)

Station	Latitude (deg)	Latitude (min)	Longitude (deg)	Longitude (min)	Bottom depth (m)	Max obs. depth (m)	Distance (nm)
TEST	35	3	139	42	800	800	
1	34	54	139	38	800	800	9.568
2	34	41	139	39.5	2000	1000	13.037
3	34	28	139	41	1100	1000	13.037
4	34	15	139	42.5	900	900	13.037
5	34	2	139	44	1000	1000	13.037
6	33	49	139	45.5	1300	1000	13.037
7	33	36	139	47	600	600	13.036
8	33	23	139	48.5	600	600	13.036

2.2 観測点における行動

1) 往路

8 班編成とし、観測項目をローテーションして実施する(ローテーションは表 4 参照)。但し、東京湾口の Station TEST では、全班が集合し観測内容の説明を行う。

①CTD-Ope 班: CTD-RMS のオペレーション, 採水データ表の作成, 必要事項の記録

②CTD-Dec 班: ニスキン採水器のセッティング, 採水瓶の用意, CTD 投入, 揚収, バケツ採水, 測温, DO(固定含む), PO_4^{3-} , Chl *a*(濾過含む) サンプルの採水

③NORPAC 班: NORPAC ネット観測, 透明度・水色の測定

④ブリッジ班: ブリッジにて気象海況情報を記録。

表 3 観測項目のローテーション(往路南下時)

Station	①CTD-Ope 班 (船内)	②CTD-Dec 班 (甲板)	③NORPAC 班 (甲板)	④ブリッジ班 (船内)
1	1 班	2 班	3 班	4 班
2	5	6	7	8
3	4	1	2	3
4	8	5	6	7
5	3	4	1	2
6	7	8	5	6
7	2	3	4	1
8	6	7	8	5

2) 復路

観測項目: ORI ネット傾斜曳きによるプランクトン採集

3. 観測方法

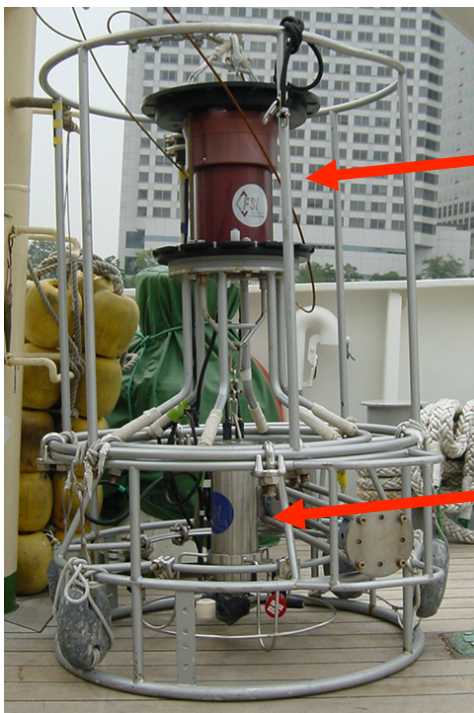
各班に渡した野帳には、観測点の情報や観測した内容、その他に気がついたこと(海の様子や見えたものなど)を記録すること。

- (1) 個々の作業現場には、野帳(あるいは各自の小ノート)を持参して記録する。
- (2) 観測終了後、それらの野帳(小ノート)から配布する観測記録シート等に転記する。

3.1 CTD/Rosette Multi-bottle Samplers (CTD/RMS) システム

神鷹丸には Falmouth Scientific, Inc. 製の ICTD (Integrated CTD Profiler) と呼ばれる CTD (以下, FSI/ICTD) が装備されている。図 2 は CTD/RMS システムの外観である。本実習では、バックアップ用 CTD システムとして Sea-Bird Electronics 社製の SBE 25 も搭載している。現在、世界の主要な海洋観測船では、Sea-Bird Electronics 社製の SBE911plus (SBE 9plus: 水中部, SBE 11plus: 船上部) システムが用いられることが多い(海鷹丸, 白鳳丸, みらいなど)。

船から曳航して海水中を上下する CTD 装置 (UCTD, YODA プロファイラー) や CTD センサーを搭載した水中グライダーによる連続断面観測, 係留系や昇降フロート (ARGO フロート) に CTD センサーを取り付けて時系列観測を行うこともある。トップ・ブイが海面に露出している太平洋・インド洋熱帯域に展開された係留系では、電磁誘導モデムにより水中センサー・データがトップ・ブイ伝送され、さらに通信衛星を介して陸上にリアルタイムに送られている。リアルタイム・データは、エルニーニョ, ラニーニャ, インド洋大ポールモード発生の予報に活用されている (http://www.jamstec.go.jp/jamstec/TRITON/real_time/)。また, ARGO フロート (全世界で約 3500 台) による CTD 観測では, フロートが海面に浮上したとき, フロートから通信衛星を介して陸上に準リアルタイムにデータが送られている。これにより, 氷海域を除く大洋の構造が時々刻々捉えられるようになっている (http://www.jamstec.go.jp/J-ARGO/index_j.html)。



採水器架台
採水器を最大12本取り付ける

CTD本体
耐圧容器の中にコンピュータなど, 回路が
封入されている

図2. Falmouth Scientific, Inc.製の
CTD/RMSの外観

デッキユニット

CTD/RMS 観測では、リアルタイムにデータ取得およびインタラクティブに採水器の制御を行う。CTD/RMS システムはアーマードケーブルと呼ばれる内部に導線が入ったケーブルに接続されており、水温、電気伝導度、水圧などのセンサー信号や船上からの制御信号(採水コマンド)が伝送されている。また、信号の伝送に必要な電力や水中部が必要とする電力もこのケーブルを通じてデッキユニットより供給されている。ウィンチではケーブルを巻いたドラムが回転しているので、ケーブルが捻れないようにスリップリングを通して信号転送および電力供給がなされている。センサー信号はデジタル・データに変換され、PC にて実データに変換される。

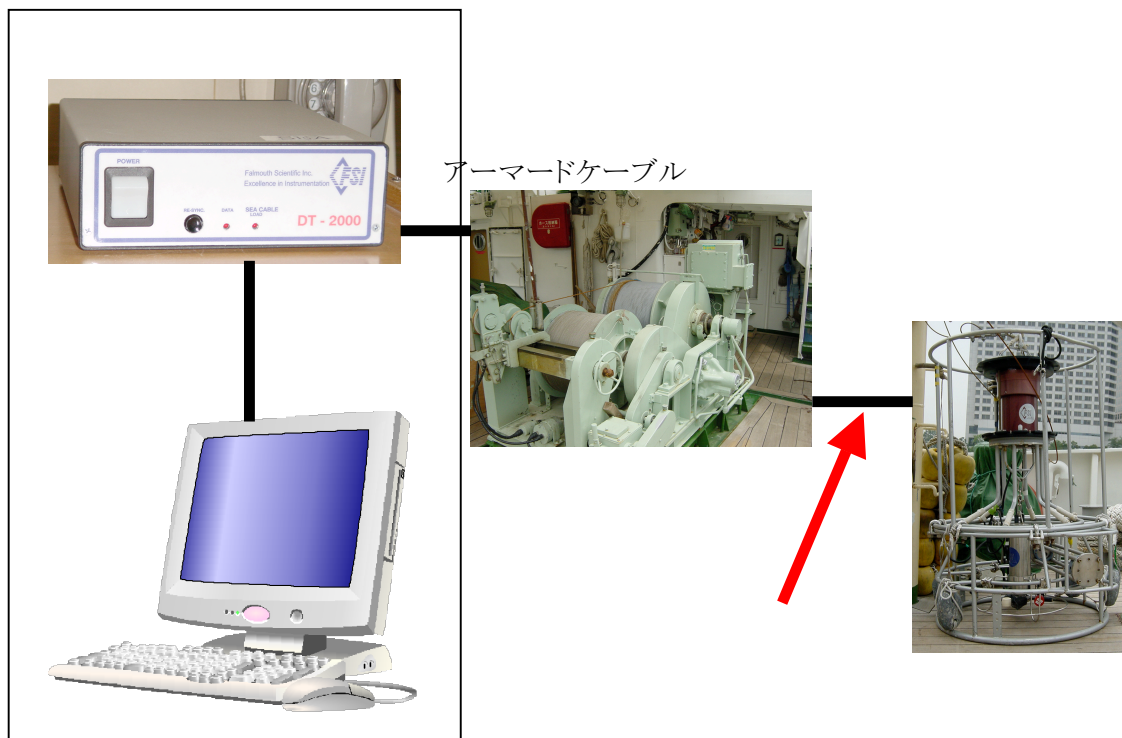


図 3. CTD 観測システム

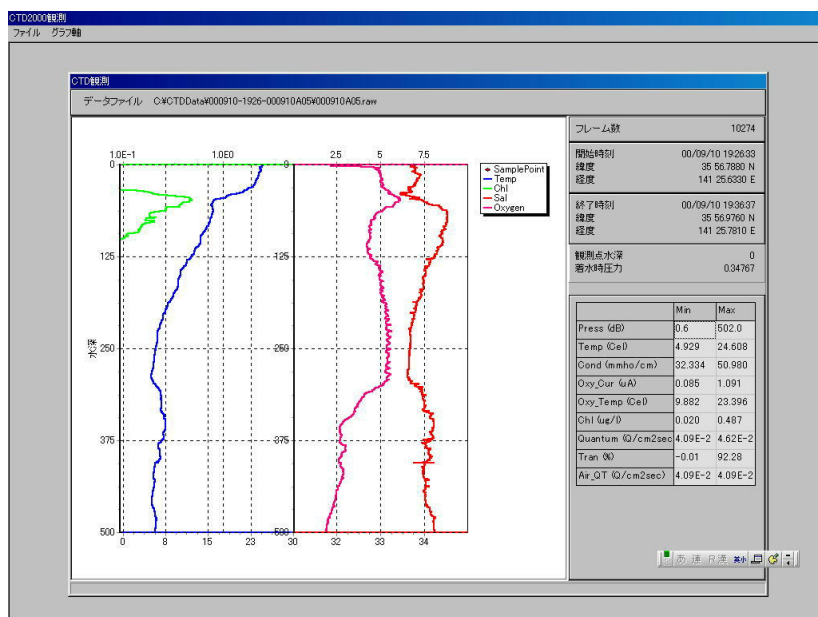


図 4. コンピュータ画面上の各成分鉛直分布図

コンピュータの画面から採水器の蓋を閉じる“採水コマンド”を送り、試水を採取する。採水コマンドを送った時刻が記録され、同じタイミング(*)で CTD センサーにて観測したデータを抽出することができる。CTD/RMS システムを揚収し観測が終了すると、データをハードディスクにセーブする。CTD の降下速度は 1 m/s で行われることが多い。FSI/CTD の場合、1 秒あたり 32 組のデータが取得されるので (32Hz)、深度方向に約 3 cm 毎のデータが得られる。すなわち、深度 1,000 m まで観測を行うと、3 万組を超える膨大なデータが得られる。

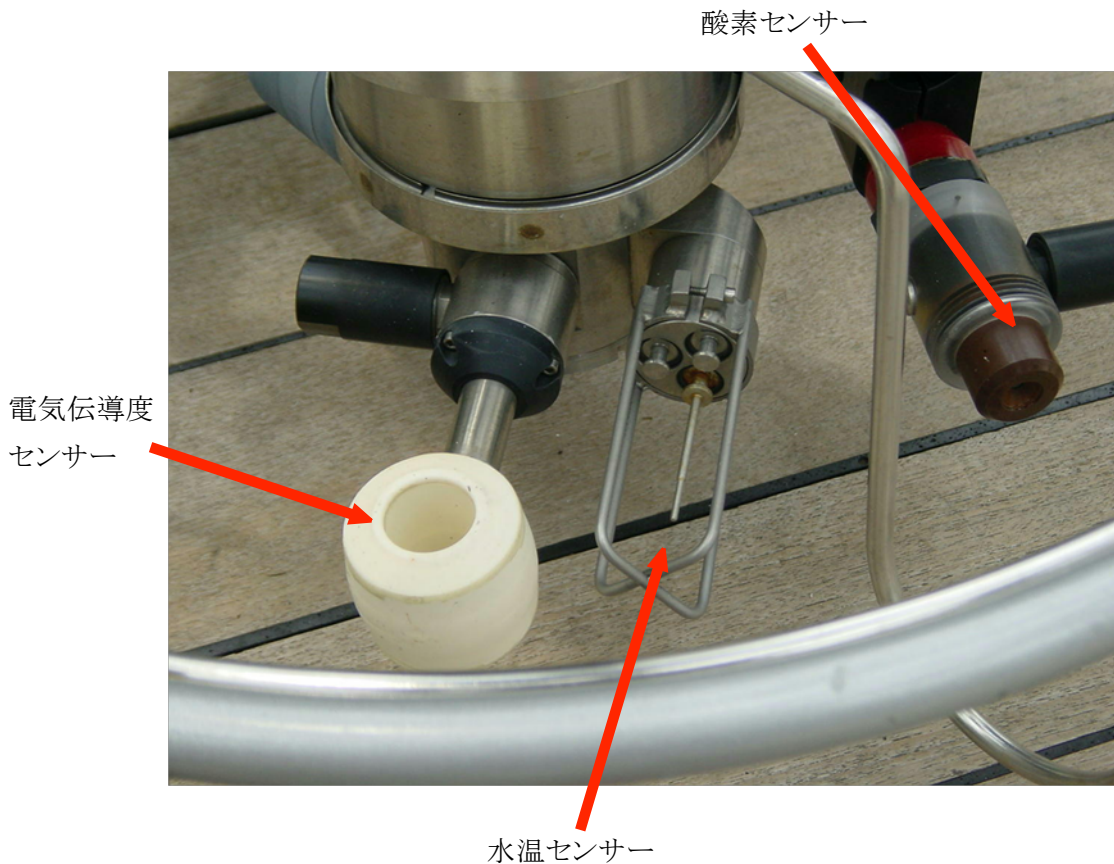


図 5. CTD センサー

図 5 に示すのは水温、電気伝導度、溶存酸素の各センサーである。水温のセンサーは、白金抵抗体 (Pt) である。Pt は安定性と温度変化に対する抵抗変化の比例特性に優れている。FSI/ICTD 搭載の水温センサーの応答速度は 150ms であり、応答のずれを補正する必要がある(※1)。電気伝導度は電磁誘導方式により計測している。溶存酸素センサーは、海水中でセンサーを流れる電流値と温度から、経験式を用いて溶存酸素の値を出すものである。酸素センサーの応答は電気伝導度センサーと比べて数十秒程度遅れるため、溶存酸素センサー・データの利用のためには、応答速度の補正と観測時の工夫(※2)が必要となる。

※1: 電気伝導度は水温にも依存するため、水温と電気伝導度の時系列データの比較により応答のズレが求められる。

※2: 応答速度が遅いため、CTD の降下速度もしくは上昇速度が一定に保たれたときの溶存酸素センサー・プロファイルデータを較正する。「みらい」では、上昇キャスト時に採水・測定したボトル溶存酸素データを用い、採水を行わない降下キャスト時の溶存酸素センサーを較正している。このとき、分析に用いる試水を採水したときの圧力と同一の圧力となる降下キャストの溶存酸素センサー・データを用いる。

本学に導入されている CTD センサーの公表性能値を表にして示す。

表 4 FSI/ICTD の公表性能

Parameter	Conductivity	Temperature	Pressure
Sensor	Inductive Cell	Platinum Thermometer	Precision-machined Silicon
Range	0 - 7.0 S/m (0 - 70 mS/cm)	-2° to 35°C	Customer specified
Accuracy*	±0.0002 S/m (±0.002 mS/cm)	0.002°C	±0.01% full scale*
Stability	±0.00005 S/m/month (±0.0005 mS/cm/month)	±0.0002°C/month	±.002% full scale/month
Resolution	0.00001 S/m (0.0001 mS/cm)	0.00005°C	0.0004% full scale
Response	5.0 cm at 1 m/sec	150 msec Platinum 20 msec Thermistor**	25 msec

* Instrument comparison to calibration standards

**Optional

- 注) (1) dBar は圧力の単位で $1 \text{ dbar} \doteq 1 \text{ m}$. また, $1 \text{ Pa} = 10^{-4} \text{ dbar}$.
- (2) S/m は伝導度の単位で, ジーメンス毎メートルと読む.
- (3) 塩分に換算するとほぼ 42 まで測定できる. 精度は 0.005 である. 電気伝導度から求める塩分には単位はない. Practical Salinity Unit (実用塩分単位) として「PSU」もしくは Practical Salinity Scale^{*1} (実用塩分スケール)「PSS」を付ける場合もある. 塩分の「分」には「濃度」の意味が含まれているので, 「塩分濃度」という言葉は, 適切ではない. 電気伝導度から塩分を求める背景には, 世界中の海でのイオン比が同じであるという仮定がある. しかし実際は, 海域によってこのイオン構成比は異なっており, 近年では, 絶対塩分 (g/kg)^{*1,2,3} が導入されている.
- (4) 上記の表はあくまで公表値であって, 基本的に較正されていない CTD データは真の値として用いることはない. 所定の層から採水した試水やより精度の高い水温センサー・データを用いて, 較正する必要がある. このため CTD システムには採水システムを取り付けて観測を行うことが一般的である. 較正方法について興味のある学生は, 物理系教員に聞いてみてください.

^{*1} IOC, SCOR and IAPSO (2010). The international thermodynamic equation of seawater. 2010: Calculation and use of thermodynamic properties. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides No.56, UNESCO (English), 196 pp.
http://www.teos-10.org/pubs/TEOS-10_Manual.pdf

^{*3} Pawlowicz (2013). What every oceanographer needs to know about TEOS-10 (The TEOS-10 Primer), 10pp.
http://www.teos-10.org/pubs/TEOS-10_Primer.pdf

^{*2} Getting started with TEOS-10 and the Gibbs Seawater (GSW) Oceanographic Toolbox VERSION 3.0, May, 2011.
http://www.teos-10.org/pubs/Getting_Started.pdf

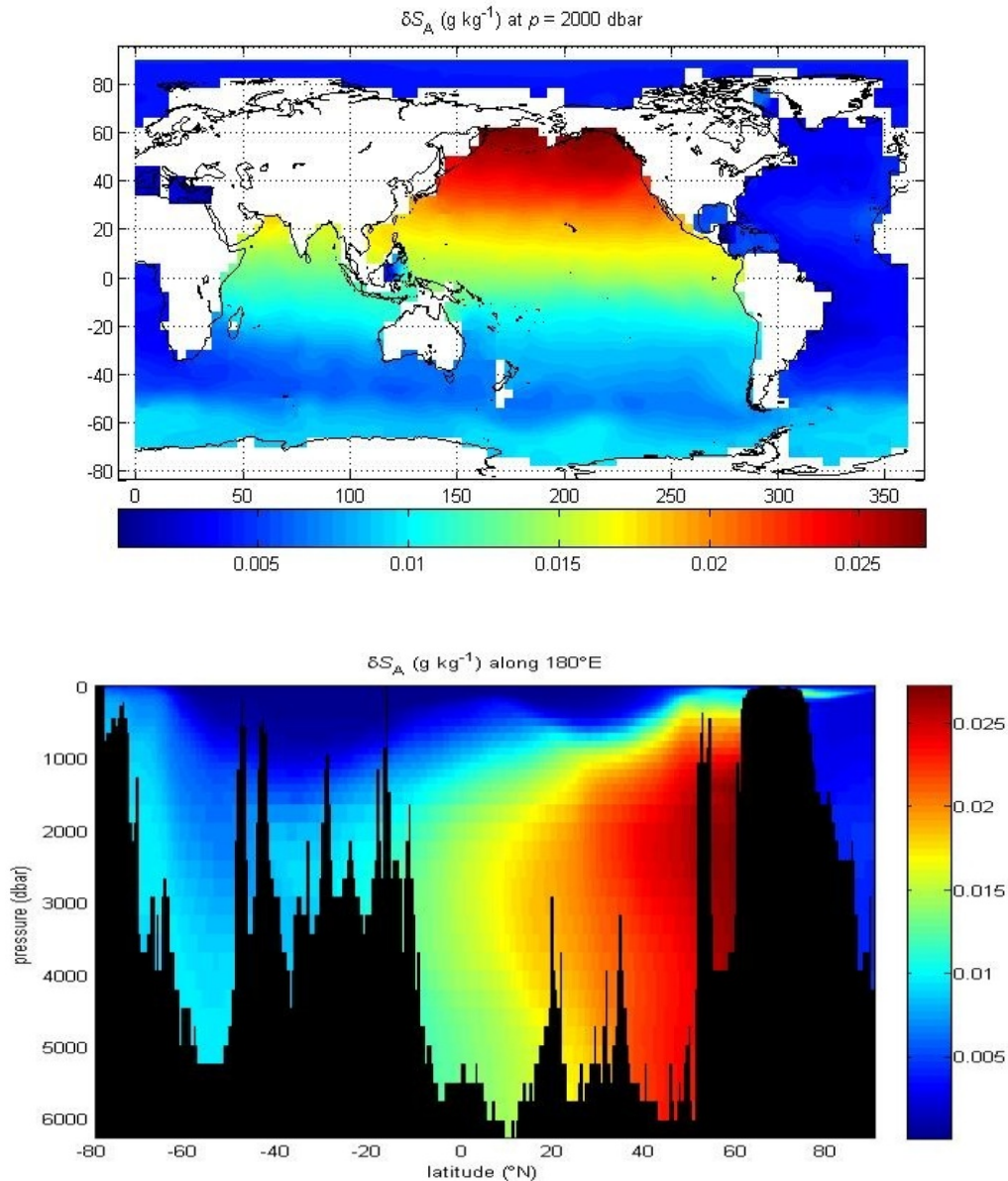


図 6. 基準となる海水のイオン構成比であると仮定したときの塩分と絶対塩分との差.

上段：2000dbar 面，右ページ：日付変更線に沿った鉛直断面. Intergovernmental Oceanographic Commission [IOC] (2010). The international thermodynamic equation of seawater, Calculation and use of thermodynamic properties, Manuals and Guides 56, 196ppより引用

北太平洋の絶対塩分は，北太平洋と比べて， $0.025(\text{g/kg})$ も大きい. これは，北大西洋深層水 (NADW) が北大西洋で沈み込み，北太平洋で湧昇するため，海底にソースがあるケイ酸塩の割合が太平洋のほうが高いことに起因している. 気候変動に関わる深層水の塩分・水温・流れの変動を調べるには $1/1000$ の絶対精度が必要であり，実用塩分は研究に適さないことが分かる. 表層に関しては，実用塩分でもほとんど差し支えない.

3.2 CTD-RMS オペレーション

- (1) CTD 観測野帳に必要事項を記入する。随時チェックし、メモを取る。
- (2) CTD-RMS システム起動。
- (3) ブリッジに水深確認。
- (4) ウィンチマンとの交信を確認。
- (5) ウィンチマンに海面下へのつり下げを指示。
- (6) ウィンチマンに観測開始(ワイヤーアウト)を指示。
- (7) ウィンチマンにワイヤーアウト予定深度を指示。
- (8) ウィンチマンと適宜ワイヤーアウトとセンサー深度について情報交換する。
- (9) ウィンチマンと位置と水深を再確認。
- (10) ウィンチマンに予定深度で停止を指示。
- (11) ウィンチマンに巻き上げ開始を指示。
- (12) 予定深度で採水する。以下の手順を繰り返す。
 - (i) ウィンチマンに slow → stop を指示する。
 - (ii) データを記憶させ、採水モードに切り替える。
 - (iii) 採水器を作動させる。
 - (iv) 計測モードに切り替え、ウィンチマンに巻き上げを指示する。
- (13) ウィンチマンに海面下までの巻き上げを指示。
- (14) ウィンチマンに揚収を指示。
- (15) データの記憶と処理を実行。
- (16) データの取り出しと作図を実行。
- (17) システムを stand-by の状態にする。

3.3 ニスキン採水器による採水、バケツによる海面水の採水

- (1) ニスキン採水器を RMS にセット。
- (2) 採水野帳に必要事項を記入。
- (3) 採水瓶を用意し、ラベルに測点番号と水深を記入。
- (4) ラベルの記載事項と酸素瓶の瓶番号・容積を野帳に記入。
- (5) 採水、海面水の水に必要な道具を準備。
酸素固定の道具・試薬を準備。(固定試薬の汚れの有無に注意)
- (6) CTD のセンサーカバーをはずす。
- (7) 指示に従い、CTD-RMS を海面下に降ろす。
- (8) 海面水のバケツ採取と水温測定を行う。(CTD が最深部に到達した頃)
 - (i) 採水バケツのロープの一端を船体に結ぶ。
 - (ii) バケツで採水し、バケツを洗う。水は船内(甲板上)に流す。
 - (iii) バケツで採水し、温度計を入れる。
 - (iv) DO, PO_4^{3-} , Chl *a* の順に採水。(気体から採取する)
- (9) CTD-RMS を指示に従って揚収。
- (10) センサーを蒸留水で洗い、カバーを取り付ける。
- (11) 採水管を取水口に取り付ける。
- (12) 通常は、DO, 塩分, PO_4^{3-} , Chl *a* の順に採水する。この順番は、変質速度(溶存酸素濃度やフロン濃度などは大気に触れただけで変化する)や求められる測定精度に基づいて決定する。今回、最も変質しやすい溶存気体である DO から採水を行う。塩検と栄養塩に関してはどちらが先でもよい(必要容量に応じて決定する場合もある)。Chl *a* に関しては、求められる測定精度がほかの項目よりも低い。また万が一、試水が指定容量に満たない場合でも、濾過量がわかっているならば濃度計算できるため、Chl *a* に関する採水は最後に行われることが多い。採水・固定法は海面水の場合と同じ。

① DO 測定用採水

- a. 採水チューブをニスキン採水器のコックにつけて、チューブ内の空気を追い出す。
- b. 試水を少量入れ、泡立てずに内壁を洗い、洗液を捨てる。
栓も洗う。洗いは2回繰り返す。
- c. 採水チューブの端を瓶の底まで入れ、ゆっくり試水を満たしていく。
- d. そのままの状態ですべて試水をオーバーフローさせる。
- e. オーバーフローさせながらゆっくりと採水チューブを引き抜く。
- f. 甲板上で直ちに(できるだけ早く)固定液(硫酸マンガン水溶液とアルカリヨード液)を加え酸素を固定する。

② DO の固定

- a. 栓を持ち上げ、硫酸マンガン水溶液を 0.5 mL 入れる(気泡を入れないように注意)。
- b. アルカリヨード液を 0.5 mL 入れる(気泡を入れないように注意)。
- c. しっかりと栓をし、激しく振って沈殿を混ぜる(30回以上)。
- d. 瓶を手を持ったまま清水バケツに入れて濯ぎ、付着した試薬を除き、箱に納める。
★試薬や溢れる試水を甲板にこぼさないように注意★

③ 塩分測定用採水(テスト観測点1点のみで実施予定)[以下は本実習の方法]

- a. 塩検瓶中の古い(測定済み)試水を捨てる(同時にゴム栓の汚れを洗う)。
- b. 少量の試水を入れ、内壁をよく洗う。洗液は捨てる。洗液を捨てる際には塩検瓶を振って良く水を切る。ゴム栓も洗う。洗いは2-3回繰り返す。
- c. 試水を瓶の肩の高さまで入れる(それ以上入れてはいけない)。
- d. しっかりとゴム栓をする。
- e. 瓶を清水で洗い、付着している海水を除く。
- f. 濡れた塩検瓶をウエスで拭き、転倒立させた状態で箱に納める。
※深層水の変動など 1/1000 程度の塩分精度が求められる観測を行うときには、
塩検瓶を蒸留水で洗浄し乾燥させてから使用する。

④ PO_4^{3-} 測定用採水

採水層数に応じた数の試験管を試験管立てに用意しておき、採水器のコックから直接採水する。共洗いを3回繰り返した後、試験管に各層 30 mL 分取する。採取後直ちに試験管の蓋を締める。船内の実験室に持ち込み、発色試薬を加える。

⑤ Chl a 測定用採水

- a. 250 mL 角型ポリ瓶に少量の試水を入れ、内壁をよく洗う。洗液は捨てる。蓋も洗う。
洗いは2回繰り返す。
- b. 試水を瓶の肩まで満たす。
- c. しっかりと蓋を締め、箱に納める。
- d. 試水(の入った採水瓶)は、箱ごと実験室に持ち込む。
- e. 速やかに所定量の水を濾過し、有機溶媒でクロロフィルを抽出する(方法は後述)。

3.4 光学的目視観測

*CTD 降下中に行う

① 透明度

透明度 (Transparencyもしくは Secchi disc depth) は、海洋表層の平均的な海水の濁りの指標である。海中に直径 30 cm の白色の平らな円盤(透明度板 = Secchi disc)を海水中に降ろし、上から見てこれが丁度見えなくなる限界の深さを透明度とし、m を単位とする深さで表す(海洋観測指針)。透明度板は目盛りをふったロープにつなぎ、下に 5 kg ぐらいの錘を付ける。測定は船体などで出来た日陰の海面で行う。手元になるロープの端を持ち、透明度板を水中へ下ろす。透明度板が見えなくなるまでロープを繰り出し、見えなくなったら水中で止める。少し(1 m 程度)ロープを引き上げ、盤が確認できたら、再び見えなくなる深さまで沈める。2-3 回繰り返し、盤の見えなくなる深さをメートル単位で読み取る(図 7a)。もし流れなどにより透明度板が垂直に沈まない場合、観測者位置からのロープの繰り出し長さ(水中部のみ)を読み取り、ロープの傾角を付記する(図 7b)。ただし傾角とロープの繰り出し長さから透明度版の沈んだ深さを推定することはしない。

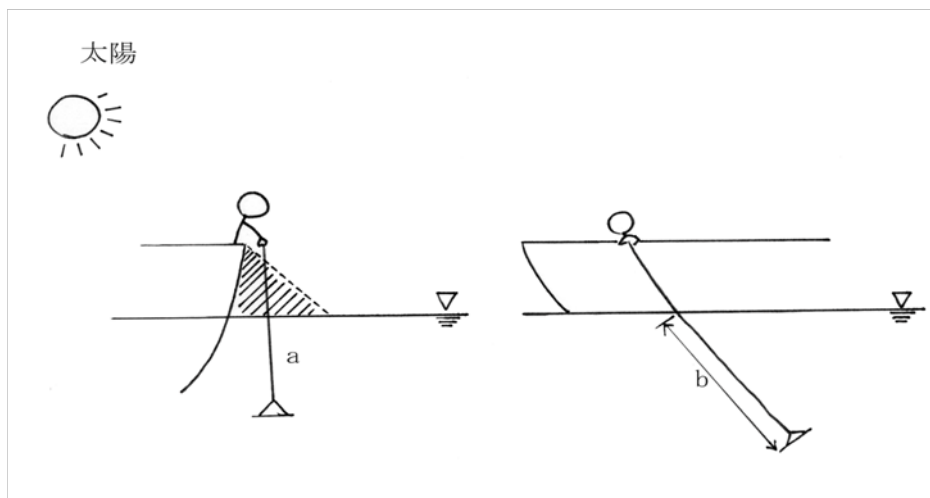


図 7. 透明度観測の模式図

② 水色

海の水色は水色計を用いて目視により比色し決定する。水色計には外洋用のフォーレル水色計および内湾・湖沼用のウーレ水色計があり、それぞれ水色 1 から 11 番、11 番から 21 番の水色が割り振られている。水色の測定は透明度と同時に進行の方が良い。水色計を使って直接海の色と比べると、水色計の液の方が明るく見えるため比色し難い。そこで透明度板を透明度深の半分の深さまで引き上げ、固定する。透明度板上の水色と水色計の色とを見比べ、一致した水色の番号を読み取り、記録する。

3.5 海洋生物の採集

海洋生物を研究する上で、生物の採集は欠かせない。対象となる生物の分布や研究の用途によって、採集方法はさまざまである。たとえば、プランクトンでは、バクテリア、植物プランクトン、100 μm 以下の動物プランクトンならば海水を採集し、濃縮したりフィルター上に集めたりして観察するが、大型で分布密度の低い動物プランクトンや仔稚魚はワイヤーにネットをつけて水平または鉛直方向に曳いて採集を行う。本学で所有するネットには、NORPAC ネット、ORI ネット、稚魚ネット、多段開閉式ネット(MTD や IONESS など)がある。さらに大型のプランクトンや小型ネクトンの採集には、網口面積の大きいネットが必要である。最近ではアーマードケーブルを通した電気信号によってネットの開閉を行うレクタングュラー型中層トロール(RMT)を用いて採集することが多い。ベントスは、ボトムトロールやドレッジなどで海底を曳いて採集するか、スミス・マッキンタイヤー採泥器などで底泥を採集し、ふるいで洗って拾い出す。

本実習では、動植物プランクトンと小型ネクトンの地理的分布や現存量を知るために、NORPAC ネットとORI ネットの曳網を行う。

① NORPAC ネットの曳網

停船したら、ネットを水面までおろしワイヤーを150 mまで繰り出す。150 mに達したら、風や表層流でワイヤーが傾くのでその角度(傾角)を測定しネットが所定の深さまで達するようワイヤー長を調整する(傾角補正という)。生物の採集は、150 m深から水面へ $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ で巻き上げるときに行っている。この方法を鉛直曳きという。ネットが実際に濾過(ろか)した水量を求めるために濾水計をつけている。ネットを回収する前に、ポンプ海水でネットについた生物を洗い、コッドエンドに落とす。ネットを回収したら、コッドエンドのコックをはずし、サンプルを瓶に移す。コッドエンドについている生物がなくなるまで洗い終わったら、サンプル瓶に中性ホルマリンを5%の濃度になるように加えて固定をする。

ネット観測のときの観測野帳には、観測点名、ネットを投入したときの時刻、繰り出したワイヤーの長さ、傾角と傾角補正をしたときに延ばしたワイヤーの長さ、ネットを回収したときの時刻、それぞれのネットの濾水計の番号と読み取り値を記入する。

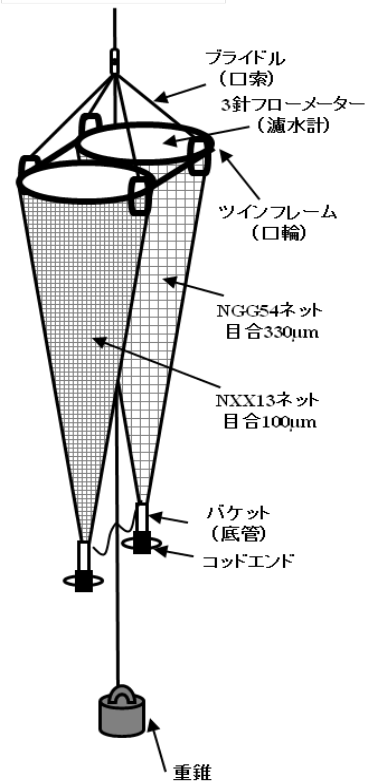


図 8. NORPAC ネット

② ORI ネットの曳網

傾斜曳き(船を走らせながらネットをとりつけたワイヤーを繰り出し・巻き込みつつ採集する方法)で採集する。通常、船速は2ノット程度に保つ(ただし、風や流れなどの状況によって臨機応変に調整する)。ワイヤーの繰り出しは、 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ で行う(ワイヤー長と傾角を見ながら調整する)。ネットが海底に着かないように注意する。ネットの回収とサンプル処理の方法は、ノルパックネットとほぼ同様である。

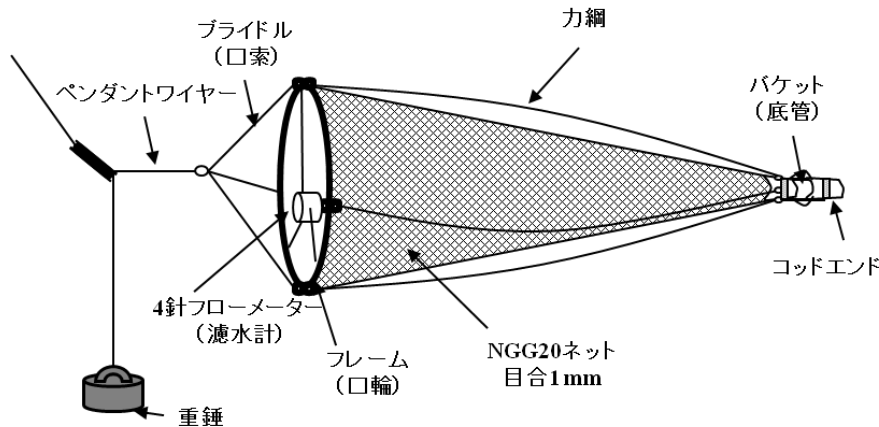


図 9. ORI ネット

4. 測定方法

4.1 塩分の測定(鶴見精機 DIGI-AUTO MODEL-5)

4.1.1 全体の構造

「構造図(図 10, p20)」を参照して下さい。

4.1.2 パネル面の説明

「パネル説明図(図 11, p21)」を参照して下さい。

4.1.2.1 表面パネル

(1)表示器

40文字2行の液晶表示器です。(英数字のみの表示です。)

(2)ポンプ

試水を内部に吸引する、ペリスタルチューブ型のポンプです。

(3)「START」スイッチ

ONで試水を吸引して測定を行い、OFFで測定終了後の排水を行います。

(この場合は、検出セル内の試水だけが排水されます)

オルタネート型照光スイッチで、ONの時点灯します。

(4)「STANDARDIZE」スイッチ

UP—中立—DOWNの3ステートスイッチです。

標準化操作と測定後全排水を行う時に使用します。

標準化操作では、測定後に表示されている電気伝導度比(15℃換算値)と 実用塩分値を、UPで増加、DOWNで減少させて、標準海水に表示されている値に合わせます。

また、「START」をOFFとした直後にDOWN側に操作すると、検出セル内の試水だけでなく本機内の配管路の全試水が排出されます。

以下は、前面扉内に取り付けられているスイッチです。

(5)「POWER」スイッチ

電源をON—OFFするスイッチです。

(6)「MODE」スイッチ

動作モードを切り換えるスイッチです。通常は「NORMAL」モードにします。「CHE

CK」モードは、整備点検及びトラブル解析時に使用します。

(7)「TEMP.」スイッチ

恒温槽の温度設定モードを切り換えるスイッチです。

通常は、自動設定される「AUTO」モードにします。

手動設定する場合は、「MANU」モードにします。

(8)「TEMP. —SET」スイッチ

「MANU」モードで温度値を読み込むモーメンタリー型スイッチです。

「TEMP. —SET」ツマミで恒温槽に設定する温度値(表示器に表示)を増減、決定して「TEMP. —SET」スイッチをONにして設定します。

また、測定を継続中に恒温槽の設定温度を変更する場合にも使用します。(測定結果が表示されている時にONにすると、AUTOまたはMANUモードでの恒温槽設定動作が開始されます。「TEMP—SET」スイッチをONにする前に「MODE」スイッチを操作してAUTO/MANUを変更できます。)

(9)「TEMP. —SET」ツマミ

「MANU」モードで恒温槽に設定する温度値を調節する10回転ツマミです。ロックを外してツマミを回して、表示される設定温度を増減します。

(10)「FLOW RATE」スイッチ

ポンプの吸入流量をLOWからHIGHまでの5段階に切替えるロータリスイッチで、

通常はHIGHにセットされています。測定値が安定しない場合はLOW側の位置へ切り換えると改善されることがあります。

(11)試水瓶受け

試水瓶をセットするポケットです。

旧タイプの国際標準海水アンブルもセットできます。

(12)「TANK DRAIN/FILL」栓

恒温槽に精製水(又は蒸留水)を注入、又は排水するときに使用する栓です。付属品の

専用取付具付き「恒温槽用チューブ」を押し込むと、栓が開き注入、排水ができます。
「恒温槽用チューブ」を取付けていない時は、栓が閉じています。

(13)「OVER FLOW」栓

「TANK」と「CELL」の2個の栓があります。

上側の「TANK」栓は恒温槽から溢れた精製水の排水用です。

下側の「CELL」栓は測定終了後に排水される試水と、水位センサより溢れる(通常はありません。)試水の排水用です。試水の測定時に取付けないと、誤動作、故障の原因となるので注意して下さい。

付属品の専用取付具付き「排水チューブ」を押し込むと、栓が開き排水をします。「排水チューブ」を取付けていないときは、栓が閉じています。

注意 排水チューブは必ずカチッと音がするまで押し込んで下さい。

チューブが十分に押し込まれないと栓が開きません。

栓が開いていないと試水が排水されず、誤動作、故障の要因となります。

何らかの異常で溢れた水が空気抜き系統にまで達すると、試水瓶受け部にある空気抜きチューブ端から流れ出ることがあります。この場合は、故障ですので使用を中止して下さい。

4.1.2.2 裏面パネル

(1)電源コネクタ

電源AC100V, 50/60Hzを接続します。

(2)RS232Cコネクタ

外部パソコンとの通信用コネクタ D-SUB (9芯)です。RS232C規格(双方向)で通信します。

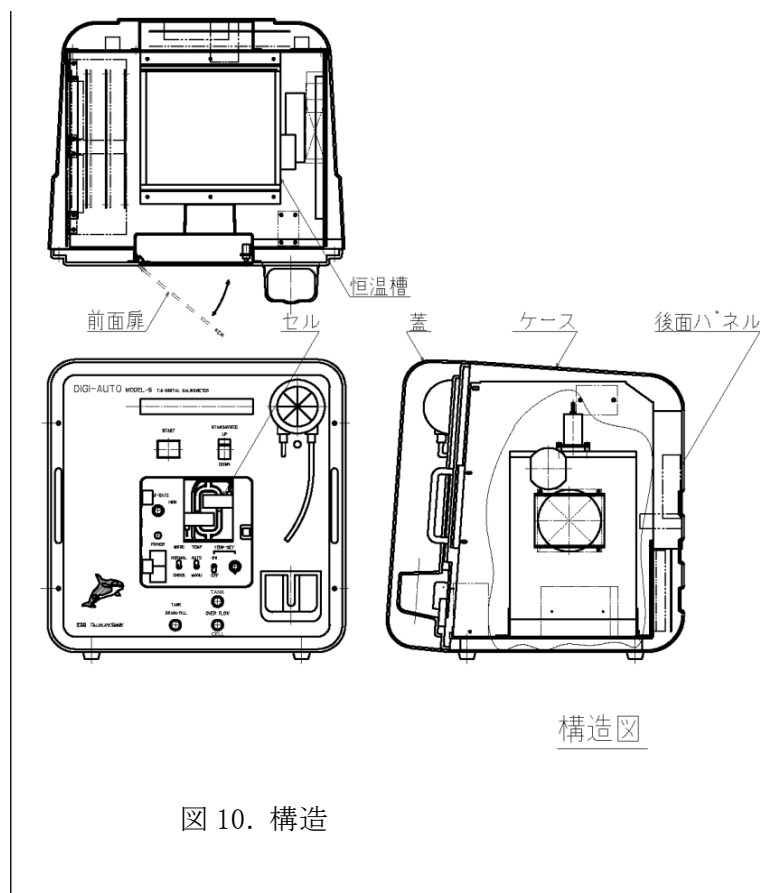


図 10. 構造

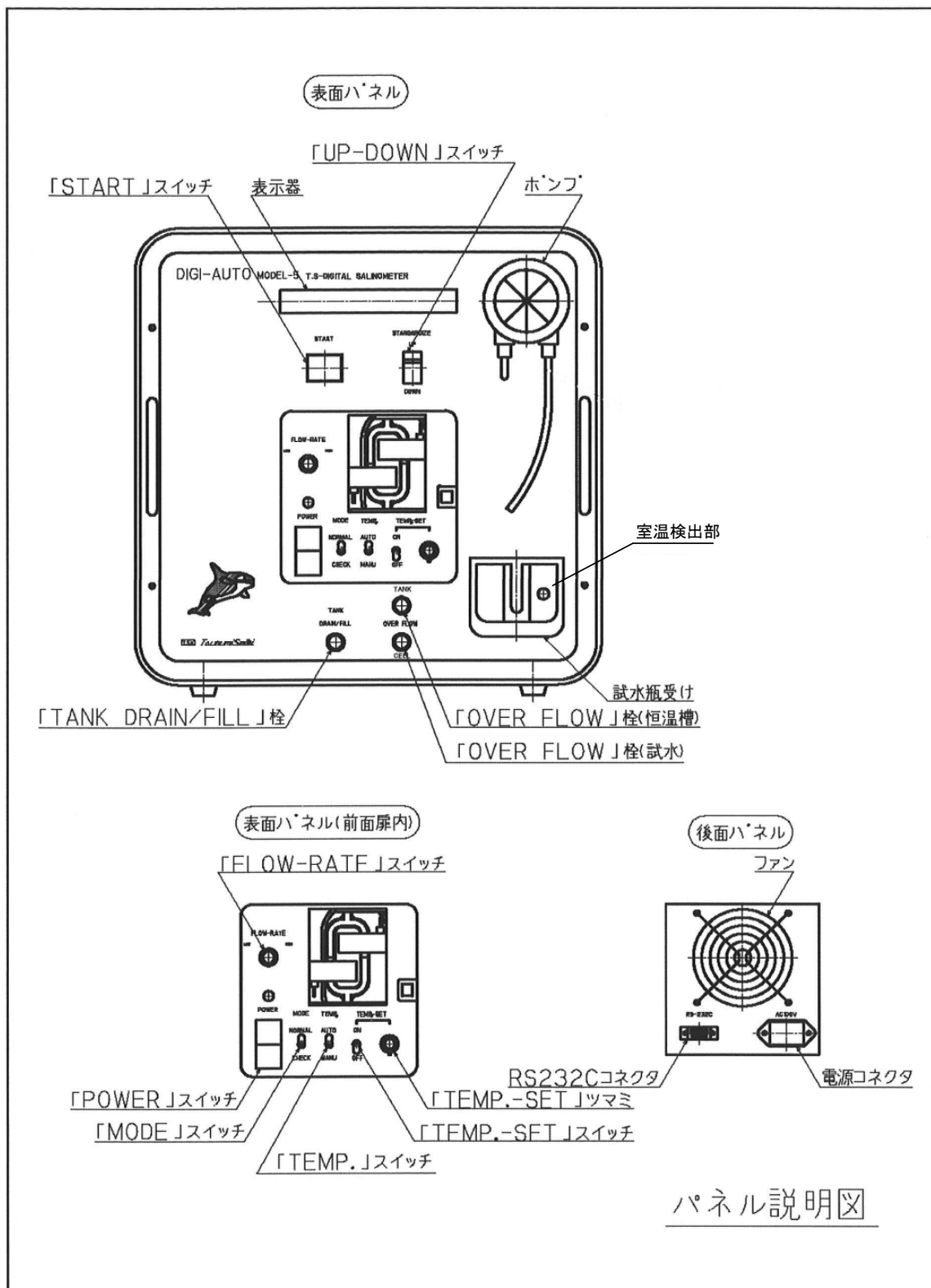


図 11. パネル説明

(2)「POWER」スイッチをONにします。

通常は「MODE」スイッチは「NORMAL」, 「TEMP」スイッチは「AUTO」にセットします。

「POWER」スイッチをONにすると, 電源が入り表示器が点灯します。

MODEの確認が行われます。

1234567890123456789012345678901234567890
ABCEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZa b c d e f g h i j k l m n



TSK DIGI-AUTO MODEL-5
POWER ON ver 1.08



OPERATION MODE : NORMAL

表示(例)

(3)「AUTO」モードでの恒温槽の温度設定

1) 周囲温度(室温)が前面パネルの試水瓶受け部にある周囲温度センサで検出され, 恒温槽温度は測定された温度より約2℃高く自動的に設定されます。

BATH-TEMPERATURE AUTO MODE

恒温槽温度の設定が終わると次の表示になります。

BATH-TEMPERATURE AUTO SETTING
BATH SET TEMPERATURE : 17.130° C

2) 設定された温度に向かって恒温槽温度が制御されます。

温度を上昇中はヒーターランプが連続点灯し, 設定温度付近では点滅します。

設定温度(BATH TEMPERATURE)と恒温槽温度(WT)が表示されます。

WAITING WHILE BATH TEMP. IS STABILIZING
BATH TEMPERATURE : 17.130° C WT=15.213° C

3) 恒温槽温度が, 設定温度±0.2℃の範囲に入ると次の表示に変わります。

BATH TEMPERATURE IS STABILIZED
BATH TEMPERATURE : 17.130° C WT=16.950° C

続いて液晶の表示が『PUSH START SW』になり, 測定可能な状態になります。

但し, 高精度に測定するためには, 水温が0.001℃の桁で安定した後, 測定を始めてください。

PUSH START SW No01/01
BATH TEMPERATURE : 17.130° C WT=16.970° C

尚, 安定した恒温槽温度が設定温度と僅かに差がありますが, 測定に支障はありません。

上枠の表示は一例を示しています。

注意 周囲温度(室温)と恒温槽温度が仕様内であることを確認して下さい。仕様外では安定した測定が行えない場合があります, その場合は電源を入れ直して恒温槽の温度設定をやり直して下さい。

(4)「MANU」モードでの恒温槽の温度設定

(3)項で「TEMP.」スイッチを「MANU」にした場合は、次の手順により恒温槽の設定温度を手動で設定します。

1)表示された温度値(SET **. *°C)を「TEMP. -SET」ダイヤルで、希望する温度値に調整します。(室温プラス2°C程度に設定して下さい。)

「TEMP. -SET」ダイヤルは、ロックツマミを反時計方向に回しロックを外してから回します。

希望する温度に調整した後は、ロックツマミを時計方向に回しロックを掛けます。

BATH-TEMPERATURE MANUAL MODE PUSH T-SET SW, SET 17.1° C
--

2)「TEMP. -SET」スイッチを押上げONにすると、恒温槽の設定温度として読み込まれます。

調整した(SET **. *°C)が(BATH TEMPERATURE)としてセットされます。但し、両者間には多少の差がありますが問題ありません。

その後の表示される内容は「AUTO」設定の場合と同様です。

WAITING WHILE BATH TEMP. IS STABILIZING BATH TEMPERATURE :17.110° C WT=15.213° C



BATH TEMPERATURE IS STABILIZED BATH TEMPERATURE : 17.110° C WT=16.933° C



PUSH START SW No01/01 BATH TEMPERATURE : 17.110° C WT=16.943° C
--

表示は一例を示します。

4.1.2.4 試水と標準海水の準備

(1) 試水の準備

測定する試水は、密封した採水瓶等に入れて室温に十分(±2℃以内)になじませておきます。
精度内で測定するためには、試水の温度分布が小さいことが必要です。

(2) 標準海水

本器は標準海水で標準化してから試水を測定しますので、標準海水を用意して室温に十分(±準℃以内)になじませておいて下さい。

精度内で測定するためには、試水と極力同じ温度にします。

なお、標準海水の代わりに、近い濃度で濃度が十分に管理された2次標準液(海水、塩水)を使用することも可能です。(2次標準液の誤差の影響はあります。)

標準化を行う間隔は一概に決められませんが、通常は

- ① 長期間使用しなかった場合
- ② 試水の測定数が多い場合や測定時間が長くなった場合
- ③ 試水の温度又は室温が大きく変わり恒温槽の設定温度を変えた場合
等には標準海水による標準化を行う必要があります。

4.1.3 操作

4.1.3.1 試水瓶のセット

試水瓶の栓を抜いて本器の瓶受けに入れ、ポンプの吸引チューブを試水瓶の底近くに挿入します。(写真-1 参照)

標準海水瓶は本体横に置いて吸引チューブを挿入します。(写真-2 参照)

旧タイプ標準海水の場合、アンプルの片端をカットして本機の試水瓶受けに入れ、ポンプの吸引チューブをアンプルの底近くに挿入します。(写真-3 参照)



写真-1: 試水瓶のセット

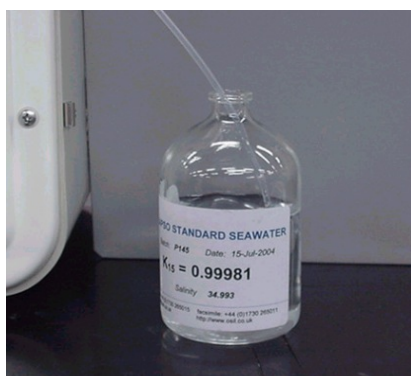


写真-2: 標準海水瓶のセット

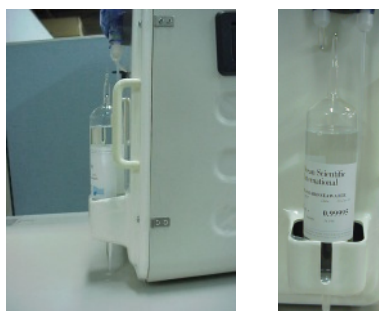


写真-3: 旧タイプ標準海水瓶のセット

4.1.3.2 試水の測定

- (1)『PUSH START SW』と表示されていることと恒温槽温度が安定していることを確認します。

PUSH START SW	No01/01
BATH TEMPERATURE : 17.130° C	WT=17.131° C

表示の右端に番号が表示されます。これはサンプル番号/バッチ番号です。
サンプル番号は同一試水の測定回数を、バッチ番号は試水の番号を示します。

- (2)「START」スイッチを押します。

以後、次の測定動作が自動的に行われます。

1) 次の表示の間、測定回路の較正(ドリフト補正)が行われます。

PRE-CALIBRATING	No01/01
-----------------	---------

2) 次の表示の間、①ポンプにより試水の吸引動作が行われます。図 13 に示すように試水はポンプより吸上げられ、②熱交換チューブで恒温槽と同じ温度になり、③セルに到達します。

さらに④水位センサに試水が到達するとポンプが止ります。

SAMPLING	No01/01
----------	---------

注意 万一、何らかの原因でポンプが止まらない場合、水位センサを通過した試水は「OVER FLOW」下側栓(CELL)から排水されます。この場合は、「START」スイッチをOFFにして試水を排水して測定をやり直します。正常に測定できず上記現象が再現する場合は、故障ですので使用を中止して下さい。

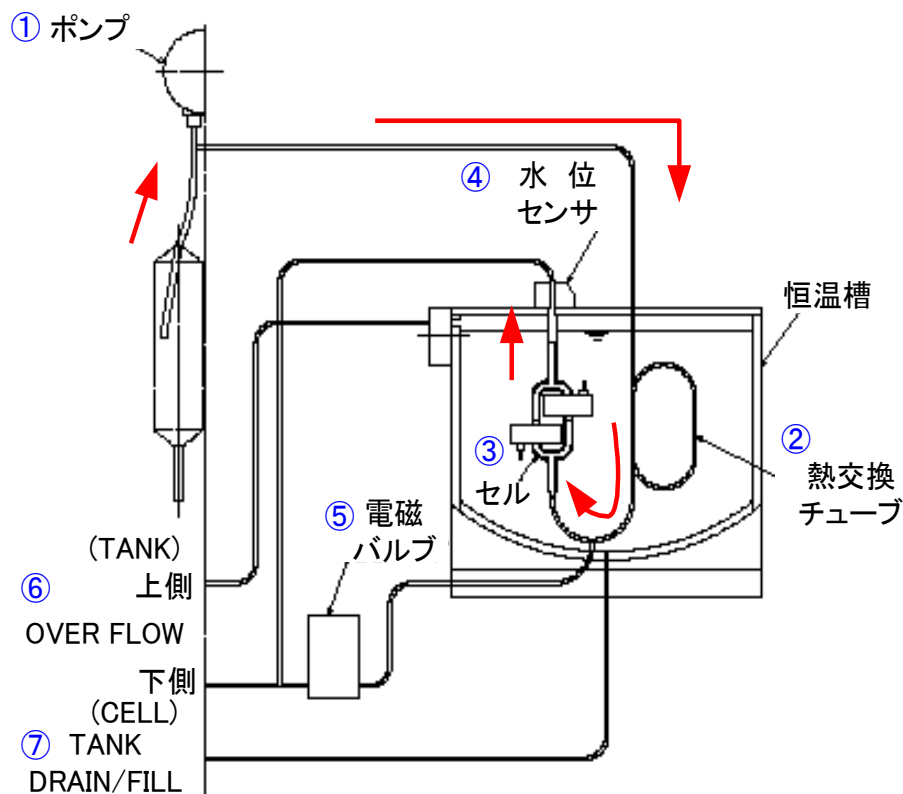


図 13. 試水の流れ(吸水)

3) 試水の電気伝導度と温度(恒温槽温度)が測定されます。

MEASURING SAMPLE	No01/01
------------------	---------

注意 この時セル内の試水中に気泡が混入している場合は正しい測定値が得られないので、「START」スイッチをOFFにして排水して測定をやり直します。

4) 水温と電気伝導度から塩分が計算されます。

SALINITY CALCULATION	No01/01
----------------------	---------

5) 測定結果の水温値(T)と塩分値(PS)を表示しますので、標準化を行うか決めます。

STANDARDIZING? (BY UP/DOWN SW)	No01/01
T=17.131° C PS=34.567	

6) 標準化を行う場合

標準海水を測定し測定結果が表示された5)項の状態です「STANDARDIZE」スイッチをUP又はDOWNにすると標準化が始まります。

詳しくは5.5項「標準化操作」を参照して下さい。

(3) 「START」スイッチをOFFにして、セル内の試水を排出します。

何らかの理由で測定の途中で中止、排水したい場合も、「START」スイッチをOFFにすれば中止、排水します。

図14に示されるように、⑤電磁バルブが開き、⑥「OVER FLOW」下側栓(CELL)から試水が排出されます。この時電磁バルブは約8秒間開いた後にストンと言う音を出して閉じます。

万一、セル内に試水残っているのが確認された場合は、「START」スイッチをONにし、表示が『SAMPLING』に変わってから「START」スイッチをOFFにして、再度排水します。

DISCHARGE SAMPLE	AT=21.00	No01/01
T=17.131° C PS=34.567		

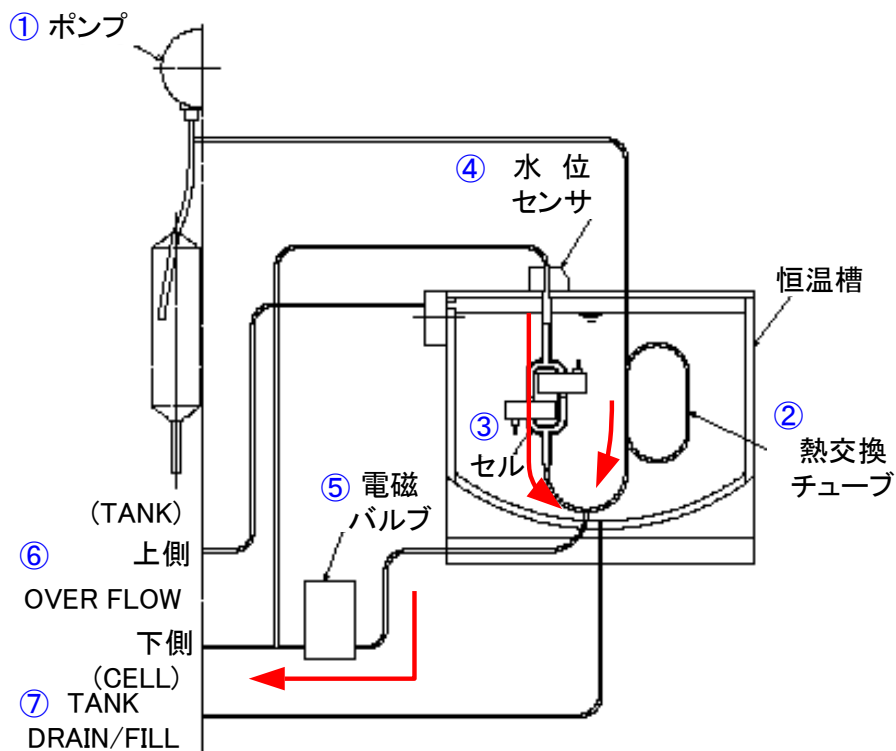


図 14. 試水の流れ(排水)

(4) 試水を排水すると測定結果が表示されます。

測定結果(水温, 塩分値, 標準化係数 γ)の画面と, 次の測定開始の画面(恒温槽設定温度と現在の恒温槽温度)が交互に表示されます。

標準化した場合は, 標準化された後の塩分値と標準化係数 γ が表示されます。

測定結果の画面

MEASURING RESULTS	No01/01
T=17.131° C PS=34.567	γ = 1.02000

測定開始の画面

PUSH START SW (OR T-SET SW)
BATH TEMPERATURE : 17.130° C WT=17.131° C

この時点で, 「T-SET SW」スイッチをONにすると, 恒温槽設定温度を「AUTO」または「MANU」モードで再設定することができます。「T-SET」スイッチをONにする前にAUTO/MANU切替スイッチを選択しておきます。

注意 恒温槽温度の設定及び変更は, 本体起動時か(4)項の表示状態時のみ行え, その他の状態では行えませんのでご注意ください。

注意 標準化係数 γ の値を記録しておいてください。機器の状態遷移や修理時の参考と

なります。(外部出力 RS232C 信号を利用されると効率的です。)

(5) 次の回(サンプル番号)の測定を開始します。

「START」スイッチをONにすると(2)項の測定動作が行われます。右端に表示されるサンプル番号が+1され、No02/01の様になります。

注意 「START」スイッチをONにするのは、(3)項で「START」をOFFにした後、電磁バルブの閉じる音がするか、「PUSH START SW」と表示された後に
行います。スイッチを押すのが早すぎると、測定値にバラツキが見られる場合があります。

4.1.3.3 測定完了後の試水排水

前項の測定動作を数回行って、1試水について安定した測定値(目安として 0.004 以内)が2~3回得られたら、次の手順で本器内全ての試水を排水します。

5.2-(3)項で「START」スイッチをOFFにする前に、ポンプ吸引チューブを試水瓶から外します。

「START」スイッチをOFFにして約3秒以内に、「STANDARDIZE」スイッチをDOWN側に1回、操作します。バルブとポンプが約40~50秒程作動して、検出セル内だけでなく本器内配管路の全ての試水が排水されます。

尚、この操作を行う度に右端に表示されるバッチ番号は+1され、次の測定時に表示されるサンプル番号は01に戻り、No01/02の様になります。

この全体排水操作を行わずに次の試水の測定を始めると、本器内で試水が残っている前の試水と混ざるので、安定した測定値を得るのに通常よりも測定回数が多く必要になります。

注意 「START」スイッチをOFFにする前に「STANDARDIZE」スイッチをDOWNにすると標準化操作が開始されるので、スイッチ操作には注意して下さい。
誤操作した場合は、5.5項「標準化操作」を参照して復旧します。

4.1.3.4 連続注水による洗浄

(1) 電源スイッチをONにする。

(2) ディスプレイに Ver を表示する。(1.08以降に下記機能が追加されました)

WAITING WHILE BATH TEMP. IS STABILIZING
BATH TEMPERATURE: **.** **°C WT=**.** **°C

もしくは

PUSH START SW No01/**
BATH TEMPERATURE: **. ***°C WT= **. ***°C

と表示されたら、[START SW]を押し、STANDARDIZE スイッチを「DOWN」側に2回素早く押します。

全排水時間の動作時間 40～50秒後に一旦停止し、直ぐに連続で吸引と排水を行います。

(3) 洗浄中はディスプレイにY文字とZ文字が交互に表示します。

STOP SAMPRING AND No01/**
Y or Z NOW CLEANING

(4) 洗浄を終了する場合は「START SW」を押して OFF にします。

STOP SAMPRING AND No01/**
A or B NOW CLEANING

A, Bと表示して停止します。

(5) 全排水

この状態では内部の水路に洗浄水が残っているので、もう一度「START SW」を押し、ポンプが動き出したなら「START SW」をOFFして、3秒以内に「UP/DOWN SW」を DOWN 側に一回押し、全排水を開始します。

4.1.3.5 標準化操作

標準化を行う前に35psuに近い濃度の2次標準液等で数回測定し、本器内の試水流路内をなじませます。このことにより標準海水の量を減らせることができます。

その後、標準海水を測定して再現性のある測定値が得られてから、次の表示の状態です「STANDARDIZE」スイッチを操作します。

STANDARDIZING? (BY UP/DOWN SW) No01/01
T=17.131° C PS=34.567

(1) 「STANDARDIZE」スイッチをUPまたはDOWNに操作すると、標準化が始まり

電気伝導度比 R15 (15°C換算の電気伝導度比)、標準化係数 γ が表示されます。UP/DOWNの操作を行って、この表示値を標準海水に表示されている電気伝導度比值、塩分値に一致させます。

γ の値は、スイッチを1回UP側又はDOWN側に操作すると 0.00001 増減し、3秒間押

し続けると1桁上の 0.0001 桁が増減します。更に3秒間押し続けるともう1桁上の 0.001 桁が増減します。塩分値もこれに応じた変化をします。

(R15 は、標準化操作を行っている時のみ表示されます。)

UPに操作した場合

STANDARDIZING(INCREASING)	No01/01
T=17. 131 PS=34. 568 R15=0. 95001 γ =1. 02001	

DOWNに操作した場合

STANDARDIZING(DECREASING)	No01/01
T=17. 131 PS=34. 566 R15=0. 94999 γ =1. 01999	

- (2) 電気伝導度比值、塩分値の調整(一致)が完了したら「START」スイッチをOFFにします。標準化係数 γ は修正された値に置き換わります。

DISCHARGE SAMPLE	No01/01
T=17. 131 PS=34. 997 R15=0. 99993 γ =1. 02100	

- (3) 標準化係数 γ は、誤操作した時や経年変化の参考として記録しておいて下さい。

誤操作によって値が変わってしまった場合は、「STANDARDIZE」スイッチをUP又はDOWNに操作して元の値に戻した後、「START」スイッチをOFFにします。

MEASURING RESULTS	No01/01
T=17. 131 PS=34. 997 R15=0. 99993 γ =1. 02100	

注意 誤操作によって標準化係数 γ を変えた後に「START」スイッチをOFFにしてしまった場合は、何らかの試水でもう一度測定及び標準化操作を行い、標準化係数 γ を元の値に戻します。

4.1.3.6 測定結果

1個の試水について精度内の測定値を得るには、目安として 0.004 以内に安定した2~3回の測定値を平均することが必要です。精度内に安定した測定値を得るまでの測定回数は、前の試水との濃度差が大きいほど多く必要になります。(近い濃度の場合は3~5回です。)安定後の測定値平均数を増すこと、及び一連の測定前後の標準化操作での時間ドリフトを補正すること等によって、より良い精度が得られます。

4.1.3.7 測定終了後の洗浄

全ての測定が終了した後は、精製水または蒸留水(試水に汚れが多いと思われる時は約45℃程度の温水)を使用して、5.2 項の操作と 5.3 項の排水操作を2~3回繰り返して配管路内を洗浄して下さい。

(翌日に測定を行う場合も、必ず洗浄を行って下さい。)

- (1) 洗浄終了後、「POWER」スイッチを **OFF** にする。

注意 測定を1日に連続して30検体以上行う場合は、10～15検体毎に本操作で洗浄を行って下さい。また、使用後にも本操作での洗浄を必ず行って下さい。

測定配管路内に試水が残留すると保管中に試水が蒸発し、残留物が配管路内に固着し、その後の測定値が不安定になる等の不具合や故障の原因になりますのでご注意願います。

なお、洗浄不足が原因で発生した不具合の修理は、保証対象外となりますので、十分ご注意下さい。

(【使用上の注意事項】3.項及び4.項を参照下さい。)

4.1.3.8 測定検体数が多い場合の保管方法

長期間(3週間以上)保管する前に、次の操作を必ず行って下さい。

- (1)使用後、又は保管前に必ず5.7項の「測定終了後の洗浄」を行い、装置内試水システムを洗浄して下さい。

注意 洗浄が不十分ですと、配管路内に残留した試水が蒸発し高濃度の残留物が発生し、測定値が不安定となり故障の原因になりますので、ご注意下さい。

4.1.3.9 塩分検定ログシートの例(みらい2008年国際極年北極航海より。作成者:MWJ小林不二夫)

使用した塩分測定機器(サリノメータ)は Guildline 社製の Autosal。電気伝導度比の2倍の値(2K)が出力される。本実習で用いる機器では、電気伝導度比(K)そのものが出力される。

表 5. 塩分検定ログシートの例

NO. 76

AUTOSAL LOG SHEET

日付 <u>2008/9/29</u>	時刻 <u>13:45</u>	測定者 <u>小林</u>	室温設定 <u>23°C</u>	室温 <u>22.66°C</u>	#E: <u>MROS-04 Leg 2 Sample 25-0</u>
AUTOSAL S/N <u>12556</u>	バタ温度設定 <u>24°C</u>	STANDBY <u>24+5500</u>	ZERO <u>0.0-0001</u>	Sub: <u>19-33</u>	
標準海水 <u>7149</u>					Pump Speed: <u>2 (9V)</u>
標準海水2K値 <u>19998</u>					19997221 = 18, 199977 = 554

検体区分	サンプルNo.	READ値(2K)						Ave	SPD	備考
10	Sub 9999	1.9	8471	8474	8476	8471	8474	1.9		
		1.9	8474	8474	8476	8474	8475	=		
		1.9	8475	8473	8474	8475	8470	=	キ...気泡	
20		1.9	8470	8473	8475	8475	8476	=		
			8473	8474				=		
30		1.9	8472	8476	8477	8475	8476	=		
		1.9	8472	8473	8474	8473	8469	=	v > 10, キ...気泡	
		1.9	8474	8475	8473	8475	8473	8474	=	
35	Std. 9149	1.9	9965	9967			9966	=	STBY: 24+5499+5500, Zero: 0.0-0001, RT 23.60	
	Sub 9999	1.9	8471	8475	8473	8474	8474	=		
Sim 187 水	= 9999	1.9	8472	8476	8472		8475	=	キ...気泡	
	バケツ	0.7	3978	3981			3981	0.7	キ...気泡 STBY: 24+5497	
	Sub 9999	1.9	8474	8475			8474	1.9		
10	= 9999	1.9	8469	8474	8474		8474	=	小林 キ...気泡	
	= 9999	1.9	8597	8600	8597	8599	8600	=	RT 23.60	
	=	1.9	8600	8600	8597	8599	8599	=	RT 23.60	
	= 9999	1.9	8473	8475			8474	=	STBY: 24+5500, Zero: 0.0-0001, RT 23.60	15:27 小林
Sim 186	= 9999	1.9	8472	8475	8471	8474	8473	=	STBY: 24+5500, Zero: 0.0-0001, RT 23.60	16:02 小林
	75dhr	0.8	7202	7202			7202	=	キ...気泡	
50	0.8	6946	6940	6947			6946	=		

4.2 溶存酸素の測定(ウィンクラー法)

4.2.1 原理

一定量の試水に硫酸(塩化)マンガン溶液および水酸化ナトリウム溶液を加えて水酸化マンガンの沈殿を作る。



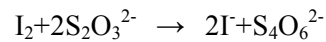
このとき、溶存酸素により一部が酸化され



これにヨウ化カリウムと硫酸(塩酸)を加えると、酸化されていたマンガニオンは酸性においてヨウ化カリウムによって還元され、ヨウ素を遊離する。



遊離したヨウ素を、既知の濃度のチオ硫酸ナトリウム溶液で滴定することにより、間接的に酸素量を求める。



チオ硫酸ナトリウムの 1 mol は酸素分子 1/4 mol すなわち酸素原子 1/2 mol に相当する。

実際には、現場で試水に硫酸(塩化)マンガン溶液と、ヨウ化カリウム-水酸化ナトリウム混液を順に加えて溶存酸素と反応させておき(酸素の固定)のちに硫酸(塩酸)酸性にしてヨウ素を遊離させ、それをチオ硫酸ナトリウム溶液で滴定する。

4.2.2 器具

採水器(ニスキンサンブラ)、採水バケツ(海面水用)、採水チューブ、酸素瓶、オートピペット(酸素固定試薬用)、マグネチックスターラ、コンカルビーカ、駒込ピペット

4.2.3 試薬 — Strickland and Parsons (1972) による —

A. 硫酸マンガン溶液

硫酸マンガン 4 水和物の 480 g を純水に溶かし 1 L とする。2 水和物の場合は 400 g、1 水和物の場合は 365 g を用いる。

B. アルカリヨード液

水酸化ナトリウム 500 g を純水 500 mL に溶かす。ヨウ化カリウム 300 g を純水 450 mL に溶かし、2 液を合せる。

C. チオ硫酸ナトリウム溶液

チオ硫酸ナトリウム・5 水塩 5.0 g を純水に溶かし 1 L とし、約 1/50 M の溶液を得る。安定剤として炭酸ナトリウムを 0.1 g 加える。

D. 澱粉溶液

澱粉 1 g を少量の水で練って均等な粥状にし、100 mL の沸騰させた純水に注ぎ良く攪拌して透明になるまで煮る。

E. 1/60 M ヨウ素酸カリウム標準液

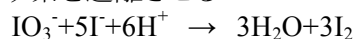
3.567 g のヨウ素酸カリウムを純水にとかして 1 L とする。

F. 6 M 塩酸(本来は濃硫酸を用いるが、危険であるため実習では 6 M 塩酸を用いる)

濃塩酸(12 M)を 2 倍に薄めて作る。

「チオ硫酸ナトリウムのファクターの決定」

1/60 M ヨウ素酸カリウム標準液を正確に 10 倍に薄めて 1/600 M ヨウ素酸カリウム液を作る。この 5 mL をピペットでコンカルビーカに移し、ヨウ化カリウムの小結晶約 0.1 g(耳かき一杯分=米粒半分くらい)を加えて溶かした後、6 M 塩酸 1 mL を加えてヨウ素を遊離させる。



これを、チオ硫酸ナトリウム溶液で滴定し、ヨウ素の色が薄くなったら、1 mL の澱粉液を指示薬として加え、生じた青色が消えた最初の瞬間を終点とし、それまでに要したチオ硫酸ナトリウム溶液の容量から正確な濃度を決定する。

1/600 M ヨウ素酸カリウム溶液 10 mL を滴定するのに、チオ硫酸ナトリウム 5.05 mL 要したとすれば、チオ硫酸ナトリウムの真の濃度は

$$1/600 \times 3 \times 2 \times 10.00/5.05 = 1.98 \times 10^{-2} \text{ M}$$

ヨウ素酸カリウム 1 mol → 上記の反応によりヨウ素分子 3 mol を遊離

ヨウ素分子 1 mol はチオ硫酸ナトリウム 2 mol と反応

となり、調製したチオ硫酸ナトリウムの濃度 (1/50 M) に掛かるファクター f は

$$1/50 \times f = 1.98 \times 10^{-2}$$
$$f = 0.99$$

となる。

4.2.4 操作

1) 酸素の固定

海水を採取した後、試水が外気に触れたり温度変化を受けないうちに酸素瓶にとり、直ちに固定する。採水器の取り出し口に採水用ゴム管をはめ、コックを開いた後ゴム管を指ではさんで静に水をだす。気泡が混入していないことを確認し、酸素瓶に注入する。1/4 ほど注入したら瓶を緩やかに回しながら水を捨てる。この作業を2回繰返したのち、管の先端を瓶の底近くに入れ、ゆっくりと試水を満たし、瓶の容量の1/3程度余分にあふれ出させながら管を引抜く。栓を試水で洗う。次に硫酸マンガン溶液とアルカリヨード液を順に各0.5 mL 静かに加えて栓をする。約30回瓶を上下に転倒させながら振って沈殿と水を良く混ぜる。水温があまり変化しない暗所に静置し沈殿を瓶の底に沈殿させる。

2) 滴定

固定後6-8時間から24時間の間には滴定を行なう。酸素瓶の番号を野帳と照合する。栓を取って上澄み液約5 mL を、3 mL 駒込ピペットを用いてコニカルビーカに移す。次に6 M 塩酸2 mL を駒込ピペットで酸素瓶に加え、ガラス棒を瓶の中に差込んで軽くかきまぜて沈殿を完全に溶かす。液をガラス棒に添わせてビーカに移し、酸素瓶と栓を純水で洗い、洗液をビーカに入れる。

予めセットしておいた電動ピストンビュレットの目盛を0に合せる。ビーカ内の液をスターラでかき混ぜながら滴定を行なう。ヨウ素の色がごく薄い黄色になった時に澱粉溶液を1 mL 加える。試水は青に変色するので滴定を続け、色が消える点を終点としてチオ硫酸ナトリウムの消費量を読取る。

終点に達しても暫く経つと再び青くなる。これは、ヨウ化物が空気中の酸素によって酸化され、ヨウ素が析出するためと考えられるので、滴定する必要はない。

4.2.5 計算

チオ硫酸ナトリウム溶液の濃度を m M, その消費量を n mL, 酸素瓶の容積を v mL とすれば, 試水 1 L 中の酸素量は

$$\text{O}_2 (\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}) = 1/4 \times n \times m \times 10^6 / (v-1)$$

* チオ硫酸ナトリウム 1 mol は酸素分子 1/4 mol に相当 *

$$\text{O}_2 (\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}) = 32/4 \times n \times m \times 10^3 / (v-1)$$

* 酸素分子の分子量は 32 g/mol *

$$\text{O}_2 (\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}) = 22.4/4 \times n \times m \times 10^3 / (v-1)$$

* 1 mol の気体の容積は, 0°C, 1 気圧 (760 mmHg = 1013 hPa) では 22.4 L *

と計算される.

☆ v から 1 を減じてあるのは, 採水時に注下した硫酸マンガ溶液およびアルカリヨード液の合計量に相当する 1 mL が, 酸素瓶中の試水 v mL から溢れ出るからである.

ちょっと補足・・・

AOU (Apparent Oxygen Utilization)

みかけの酸素消費量. 海洋中での酸素の消費量を表す尺度で, その海水の水温と塩分から決まる飽和量と実測値の差で定義される. 海面水はほぼ飽和状態にあり, 無光層に潜り込んだ後は, 溶存酸素は有機物の分解に使われて減少するから, 酸素の消費量はその海水が潜り込んでからの時間スケールを与える. 「みかけ」と言うのは, 飽和量が水温・塩分の一次関数で無いので, 混合過程を経た海水では本当の飽和量が分からないことによる.

酸素飽和度 (酸素飽和百分率)

DOは, 濃度 ($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$) のほかに, 飽和溶解量に対する比 (酸素飽和度) として表すことも多い. 淡水の場合, 試料中の溶存酸素量を D ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), 試料採取時の気圧を B (mmHg) とすれば, 試料採取時の溶存飽和酸素量 D_t を表6を使って求め, 次式から酸素飽和度を算出する.

$$\text{酸素飽和度 (\%)} = \frac{D}{D_t \times B/760} \times 100$$

表6. 純水中の飽和酸素量(O₂ mg・L⁻¹)

気圧1013 hPa(760 mmHg), 酸素20.9%, 水蒸気飽和大气中

温度(°C)	0 °C	0.5 °C	塩化物イオン100 mg・L ⁻¹ (100ppm) 毎に減ずべき溶存酸素量
0	14.16	13.97	0.0153
1	13.77	13.59	0.0148
2	13.40	13.22	0.0144
3	13.05	12.87	0.0140
4	12.70	12.54	0.0135
5	12.37	12.22	0.0131
6	12.06	11.91	0.0128
7	11.76	11.61	0.0124
8	11.47	11.33	0.0120
9	11.19	11.06	0.0117
10	10.92	10.08	0.0113
11	10.67	10.55	0.0110
12	10.43	10.31	0.0107
13	10.20	10.09	0.0104
14	9.98	9.87	0.0101
15	9.76	9.66	0.0099
16	9.56	9.46	0.0096
17	9.37	9.28	0.0094
18	9.18	9.10	0.0091
19	9.01	8.93	0.0089
20	8.84	8.76	0.0086
21	8.68	8.61	0.0086
22	8.53	8.46	0.0084
23	8.38	8.32	0.0082
24	8.25	8.18	0.0081
25	8.11	8.05	0.0079
26	7.99	7.92	0.0078
27	7.86	7.81	0.0077
28	7.75	7.69	0.0076
29	7.64	7.58	0.0076
30	7.53	7.47	0.0075
31	7.42	7.37	0.0075
32	7.32	7.27	0.0074
33	7.22	7.18	0.0074
34	7.13	7.08	0.0074
35	7.04	6.99	0.0074
36	6.94	6.90	-----
37	6.86	6.81	-----
38	6.76	6.72	-----
39	6.68	6.63	-----
40	6.59	6.55	-----

*海水では, 飽和酸素量は塩分に比例して減少する. 各温度における補正值の塩化物イオンの値(全て塩化ナトリウムとするとその60.66%)を純水の飽和酸素量から減じる. 海水の塩分は32-35である. 32の海水の塩化物濃度は大体19400 ppmとなるので補正值の194倍を減じることになる.

4.3 リン酸塩の測定 (Murphy and Riley 法)

4.3.1 測定法の概要

リン酸塩は酸性においてモリブデン酸と反応し、錯体を生成する。これをアスコルビン酸によって還元すると青色に発色する化合物を形成するので比色定量する。

4.3.2 器具

目盛りつき試験管, メスフラスコ, ピペット(オートピペット), 分光光度計, 5 cm セル

4.3.3 試薬

A. モリブデン酸アンモニウム溶液

モリブデン酸アンモニウム 4 水和物 3.0 g を純水 100 mL に溶かす。

B. 4.9N 硫酸

140 mL の硫酸を純水 900 mL に加える。 ← 予め用意してある。

C. アスコルビン酸溶液

アスコルビン酸 5.4 g を純水 100 mL に溶かす。

D. 酒石酸アンチモニルカリウム溶液

酒石酸アンチモニルカリウム 0.068 g を純水 50 mL に溶かす。

続いて、A-D を以下の割合で混ぜて発色試薬を作成する。

☆B 液 250 mL に A 液 100 mL を加え、続いて C 液 100 mL, D 液 50 mL の順で混ぜる。順序を必ず守ること！

・作成後、冷蔵庫に保管し、6 時間以内に使用する。

E. リン酸標準液

0.272 g の無水リン酸 2 水素カリウムを純水にとかして 1 L とする。クロロフォルム 1 mL を加えて保存する。この溶液は $2 \text{ mmol P} \cdot \text{L}^{-1}$ の濃度を持つ。

4.3.4 検量線

標準溶液 10 mL に純水を加えて 100 mL とし、 $200 \mu\text{mol P} \cdot \text{L}^{-1}$ の溶液を作る。その 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 mL を取って、それぞれ純水で 100 mL に希釈し、0.50, 1.0, 2.0, 4.0 $\mu\text{mol P} \cdot \text{L}^{-1}$ の濃度の標準液を作る。純水および各標準液をそれぞれ試験管に 30 mL 取り発色試薬を 3 mL 加え、30 分から数時間の間に測定する。セルは 5 cm 光路長のものを用い、波長 885 nm で吸光度を測定する。吸光度と濃度の関係をグラフにするし、最小二乗法(次項に説明)により検量線を求める。

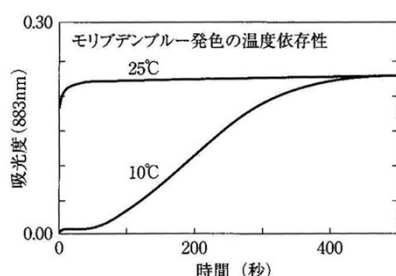


図 15. モリブデンプルー発色の経時変化
奥(2002)より

温度依存性に注意！

4.3.5 測定

甲板上で、採水器から海水 30 mL を試験管に取り、実験室に持ち込んでから発色試薬を 3 mL 加え 30 分から数時間以内に吸光度を測定し、先に作成した検量線の回帰式から濃度を求める。

最小二乗法による回帰線の決定

散布図を作成するとき、例えば身長と体重のデータの特徴は、身長を横軸(x)、体重を縦軸

(y)にとつた場合、身長が高いほど体重も大きいと予想できる。その関係を直線で表す良い方法はないだろうか。つまり、

$$y = Ax + B$$

で表せるような直線を身長と体重の関係を代表させるような直線として推定することを考える。各々のデータから、推定する直線に垂線を下ろしたときの線分長の2乗和が最小になるように線分を推定する。すなわち、

$$E = \sum_{i=1}^N [y_i - (Ax_i + B)]^2$$

を最小とするようなAとBを求めればよい。ここで、Nは標本数、iは観測値が何番目かを示す。2次曲線的なEが最小値を持つ点では、Eの傾きが0になるので、

$$\frac{\partial E}{\partial A} = 2 \left\{ A \sum_{i=1}^N x_i^2 + B \sum_{i=1}^N x_i - \sum_{i=1}^N x_i y_i \right\} = 0, \quad \frac{\partial E}{\partial B} = 2 \left\{ A \sum_{i=1}^N x_i + BN - \sum_{i=1}^N y_i \right\} = 0$$

を満たす。これは連立1次方程式であるので解くと、

$$A = \left\{ N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i \right\} / \left\{ N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2 \right\}$$

$$B = \left\{ \sum_{i=1}^N x_i^2 \sum_{i=1}^N y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N x_i y_i \right\} / \left\{ N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2 \right\}$$

となる。これは、x, yそれぞれの分散Sxx, Syyや、共分散Sxyが、

$$S_{xx} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{1}{N^2} \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2$$

$$S_{yy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2 - \frac{1}{N^2} \left(\sum_{i=1}^N y_i \right)^2$$

$$S_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{1}{N^2} \left(\sum_{i=1}^N y_i \right) \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)$$

のようにかけることから(ここで \bar{x} や \bar{y} はそれぞれの平均値)、単純に

$$A = S_{xy} / S_{xx}$$

$$B = \bar{y} - \bar{x} \cdot S_{xy} / S_{xx}$$

ともかける。また相関係数はこれらを用いて、

$$r_{xy} = S_{xy} / \sqrt{S_{xx} \cdot S_{yy}}$$

となる。

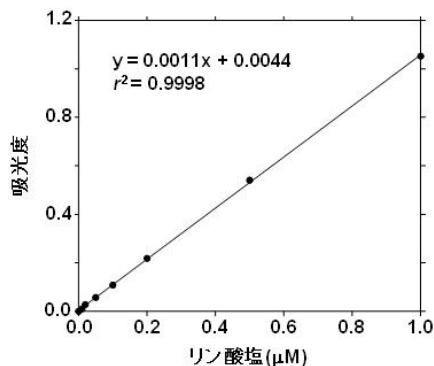


図 16. 最小二乗法による回帰直線の例

4.3.6 分光光度計の使い方

試料測定の前30分以上前に電源を入れる。計測波長は885 nmに設定する(本実習ではす

でに設定済み)。この実習では光路長 5 cm のフローセルとシリンジシッパーを組み合わせた分光光度計を用いる。指示に従ってセットアップがすんだ状態で、試料吸い込み口を純水に差し込んで、レバーを押す。純水が吸引され、吸光度が表示される。ほぼゼロであることを確かめる。ゼロから値が大きく異なる場合はやり直す。次いで試料吸い込み口をサンプルに差し込んで、レバーを押す。試料が吸引され、吸光度が表示される。必要があればもう一度吸引して、同じ値になることを確かめる。各サンプルについて、この手項を繰り返す。

4.4 クロロフィル *a* の測定(蛍光法)

4.4.1 測定法の概要

クロロフィルは、光合成の明反応において、光エネルギーを吸収する役割を担っている。ほぼ全ての植物プランクトンは、光合成色素としてクロロフィル *a* を保有する。そのため、クロロフィル *a* 濃度は海洋学における基本的な生物化学的観測項目である。蛍光物質であるクロロフィル *a* は、430nm 付近の波長の光(青色光)を吸収し、それよりも長波長の赤色光(660nm)を発する。この性質を利用して、植物プランクトンから有機溶媒によってクロロフィルを抽出し、定量する。

4.4.2 器具

ポリ瓶、フィルターホルダー(コマ型、直径 25 mm 用)、50mL 注射器、ディスペンサー、蛍光光度計、グラスファイバーフィルター(GF/F)、ピンセット、ガラスキューベット、シーリングテープ、蒸留水

4.4.3 抽出溶媒

クロロフィル *a* の抽出溶媒として、アセトン、メタノール、ディメチルフォルムアミド(DMF)などが用いられる。本実習では、DMFを用いる。DMFは、抽出力が強く、DMSに溶存したクロロフィル *a* は安定していて、他の溶媒を用いたときよりも長期間保存が可能である。その他、揮発性が低く、燃えにくい特徴を持つ。一方、毒性が高く、容易に皮膚から吸収される。従って、取り扱い時には、手袋を着用し、こぼしたり、周囲に付着させたりしないように、十分に注意する。

4.4.4 操作

1) 採水

植物プランクトンが多い富栄養海域では 50 mL またはそれ以下の試水で十分であるが、貧栄養海域では、200 mL 程度の試水が必要である。

2) 濾過, 抽出, 保存

フィルターホルダー(コマ型)にGF/Fフィルターを取り付ける。50 mL 容の注射器の先にチューブをつけ、サンプル瓶から直接、所定量のサンプルを吸い取る。試水の量は、予測される植物プランクトン濃度によって決める。本実習では 200 mL(つまり、50 mL×4 回)を基本とする。チューブをはずし、フィルターがセットされたコマ型ホルダーを取り付ける。注射器のピストンを押し、サンプル水を濾過する。フィルターの水分をなるべくなくすために、注射器に空気を入れて前述の作業を繰り返す。

フィルターを取り出し、抽出作業を行う。フィルターは、濾過面を内側に 2 つ折にしてガラスキューベットに入れ、直ちに一定量の DMF を加えて測点名、水深、濾水量等を書き、冷暗所に数時間から 1 昼夜程度置き抽出する。色素の分解を防ぐため DMF に浸けた状態で冷凍庫(冷暗所)に保存する。

3) 測定(ターナーデザイン社の蛍光光度計 10-AU による)

蛍光光度計の各感度で、ガラスキューベット（以降はセルと呼ぶ）のセルブランク（＝DMF 溶液を入れて測定したときに蛍光が出ない）がゼロになるセルを使用する（本実験では、すでに確認したものを用意している）。

蛍光光度計本体の赤いボタンを押して起動させる。ターナーデザイン社の蛍光光度計は、独自の調整回路を持つため、いったん感度を測定しておけば数ヶ月はそのファクターを用いてクロロフィル濃度を計算できるが、ソリッド・スタンダードにより、機器の状態を確認する。

試料は冷蔵庫から室温の暗所に移して 30 分ほど待った後、記録用紙に試料の採集地点（測点番号）、深度、濾過水量等の情報を転記する。測定前に、セルのガラス面の汚れをキムワイプでふき取っておく。その後、セル室にセルをセットして、読み取り値 (F_0) が安定するのをまって、記録する。

4) クロロフィル a 濃度の算出(単位は $\mu\text{g L}^{-1}$)

$$[\text{Chl } a] = f \times Fl \times \frac{D}{V}$$

ここで、 D は DMF の量、 V は濾過した海水の量 f は純粋なクロロフィルの溶液を用いてあらかじめ求めたファクターである。

5. 解析および成果発表

5.1 データ整理と共有

- (1) テスト観測データ
 - (i) CTD・採水野帳
 - ◎サンプルボトルの番号とニスキン採水器番号の整合性確認,
担当者情報(オペレーション, 採水)確認, リーク等ニスキン採水器状態確認
 - ◎d(水深), p(圧力), T(水温), θ (ポテンシャル水温), S(塩分), σ_θ (ポテンシャル密度),
DO_{CTD} の記入
 - (ii) 塩分検定結果(電気伝導度比, 塩分)の記入(担当分)
- (2) 横断観測データ(担当分)
 - (i) CTD・採水野帳
上記(1)(i)と同じ
 - (ii) PO₄³⁻測定野帳(濃度の計算)
 - (iii) DO 滴定野帳(濃度の計算)
 - (iv) DO の飽和濃度, 飽和度, AOU
 - (v) Chl a 測定野帳(濃度の計算)
- (3) 全ての班でデータを共有

5.2 解析

- (1) 各観測点データ:
 - (i) 各観測点におけるデータの鉛直プロファイル図
データ:T, θ , S, σ_θ , DO, DO_{sat}, PO₄³⁻, Chl a
 - (ii) θ -S 図 (T-S ダイアグラムと呼ぶこともある)
- (2) 全測点データ:
 - (i) 観測点データの鉛直断面図
データ:T, θ , S, σ_θ , DO, DO_{sat}, PO₄³⁻, Chl a
 - (ii) 地衡流計算とその鉛直断面図
 - (iii) DO_{ctd} と DO_{tit} の関係図
 - (iv) PO₄³⁻と AOU の関係図

5.3 考察

各自, 各班で, 海洋学関連の講義で学んだことを基に, 各種データの鉛直プロファイル, 空間分布について, その形成要因を含めて考える. 持ち込んだ PC を活用してもよい. 遠方からの海流による輸送, 降水蒸発等によって鉛直構造・分布が決まっていることがあるので, 観測海域以外にも注目しよう. 興味のあることについて, 教員, TA に質問してみる.

5.4 成果発表とレポート作成

- 1) 発表会(船上)
班毎に観測成果発表を行う. 質疑応答を通じ, 「海の」捉え方を身につける.
- 2) レポート(船上)
下船までに, 班毎にレポートを提出する.

付録 1

A1.1 地衡流について

ニュートンの第2法則(運動の第2法則)は,

$$M \times \alpha = F$$

であり, 海洋や大気などの地球流体の運動もこの法則に従っている. 海洋の場合, 海水の密度を ρ , 圧力を p , 水平速度を (u, v) , コリオリパラメータを $f(=2\Omega \sin \theta)$, 時間を t , 東向き, 北向き, 鉛直上向きの空間座標を (x, y, z) とし, 粘性や外力が無視できる場合には, ニュートンの第2法則(水平運動方程式)は,

$$\begin{aligned} \rho \frac{du}{dt} &= \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = +\rho f v - \frac{\partial p}{\partial x} \\ \rho \frac{dv}{dt} &= \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\rho f u - \frac{\partial p}{\partial y} \end{aligned}$$

① ② ③

と書ける. $(\rho f v, -\rho f u)$ はコリオリ力で, 北半球では速度に比例し運動方向に対し右手 90 度の方向に働く仕事をしない見かけの力である. もし, 「①海流に乗って見たときの海流の加速度」が「②コリオリ力の項」および「③圧力勾配力の項」よりも十分小さい場合, 水平運動方程式は

$$u = -\frac{1}{\rho f} \frac{\partial p}{\partial y}, \quad v = \frac{1}{\rho f} \frac{\partial p}{\partial x}$$

に近似できる. この近似式のことを, 地衡流平衡の式と呼び, この式で表わされる流れのことを地衡流(気象学の場合には, 地衡風)と呼ぶ. 地衡流は, 北半球では, 圧力の大きな方を右手に見て等圧線に沿って流れる. 地衡流の式には時間が含まれていないので(時間的に縮退しているという), この式だけで地衡流の時間変化を追うことはできない. 黒潮の変動を調べるときは, 地衡流の式では無視された地平衡流ではない流れの収束・発散を含めて扱う必要がある. 非地平衡流成分の収束発散により, 海面や内部密度面の凹凸が生じる. この凹凸は, 一種の“波”であり, それが伝播することによって圧力分布も変化し, 地衡流が変化してゆくのである. つまり, 黒潮の蛇行は, 偏西風の蛇行と同じく, 回転する地球を巡る波(ロスビー波)による変動と考えればよい. これを記述した方程式系が準地衡流渦位程式であり, 世界最初の実用的コンピュータで気象の数値予報に使われた. 今日, コンピュータの能力は 10^{11} 倍の演算速度となり, より緻密で正確な天気予報が行なわれている. 海流の予報についても, 近年飛躍的に進展しており(例えば, 日本沿海予測可能性実験(JCOPE) <http://www.jamstec.go.jp/frcgc/jcope/>), 経済的な航路選定などに活用されている.

地衡流の式の利点は、直接流速観測を行わなくとも、圧力分布から流速が分かることにある。

但し、この近似が可能な条件として、地球の自転周期を T_R とすれば、注目する現象の時間スケール(T)が、慣性周期 $(2\pi/f = T_R/2\sin\theta)$ 程度かそれ以上、空間スケール(L)が変形半径 $(L_R = \sqrt{g'h}/f)$ 程度かそれ以上

$$T > \frac{2\pi}{f} = \frac{2\pi}{2\Omega \sin\theta} = \frac{2\pi/\Omega}{2\sin\theta} = \frac{T_R}{2\sin\theta}$$

$$L > \frac{\sqrt{g'h}}{f} \equiv L_R$$

の場合に限られる。ここで、 h は上層の厚さ、 g' は有効重力加速度で2層成層流体の場合、

$$g' = \frac{\Delta\rho}{\bar{\rho}} g$$

で、 $\bar{\rho}$ は平均密度、 $\Delta\rho$ は上層と下層の密度差である。伊豆諸島海域では、おおよそ

$$\bar{\rho} = 1026 \text{ kg/m}^3, \quad \Delta\rho = 3 \text{ kg/m}^3, \quad h = 400 \text{ m}, \quad \theta = 34^\circ$$

なので、 $T_R = 21.4$ hours, $L_R = 41.5$ km になる。6 ページの図から黒潮本流の幅は約 100 km あるので、これを黒潮を横切るスケールを(L_y)とすれば、 $L_y > L_R$ となっており、地衡流近似可能な条件となっていることが分かる。また、例えば、黒潮の蛇行変動に注目するとしよう。蛇行スケールはおおよそ東京～名古屋間のスケールなので、これを 300 km とし、黒潮流軸流速を 2 m/s とすれば、この距離を移動するのに要する時間は 41 時間程度となる。これを現象の時間スケール(T)とすれば、 $T > T_R$ となっており、地衡流近似が可能な条件となっていることが分かる。一方、東京湾内などで観測される流れの空間スケールは、一般に L_R よりも小さく、このような湾内での循環に注目するときは、地衡流のみで考えてはいけない。実際には、潮流のほうが卓越している。最近では、データを入れると(その中身が分からなくとも)地衡流計算結果とその図まで表示してくれる便利なソフトが存在するが、ソフトは、地衡流近似が可能かどうかまでは判断してくれない。“注目する現象のスケール”を決め、地衡流近似が可能かどうかを判断するのは、あくまで海を知りたい“自分自身”である。今の時代、ソフトの使い方を間違えると、とんでもない結果と解釈を与えてしまう可能性があることに注意してほしい。

A1.2 地衡流計算の感覚的理解

地衡流計算の中身を感覚的に理解することができる例を紹介する。

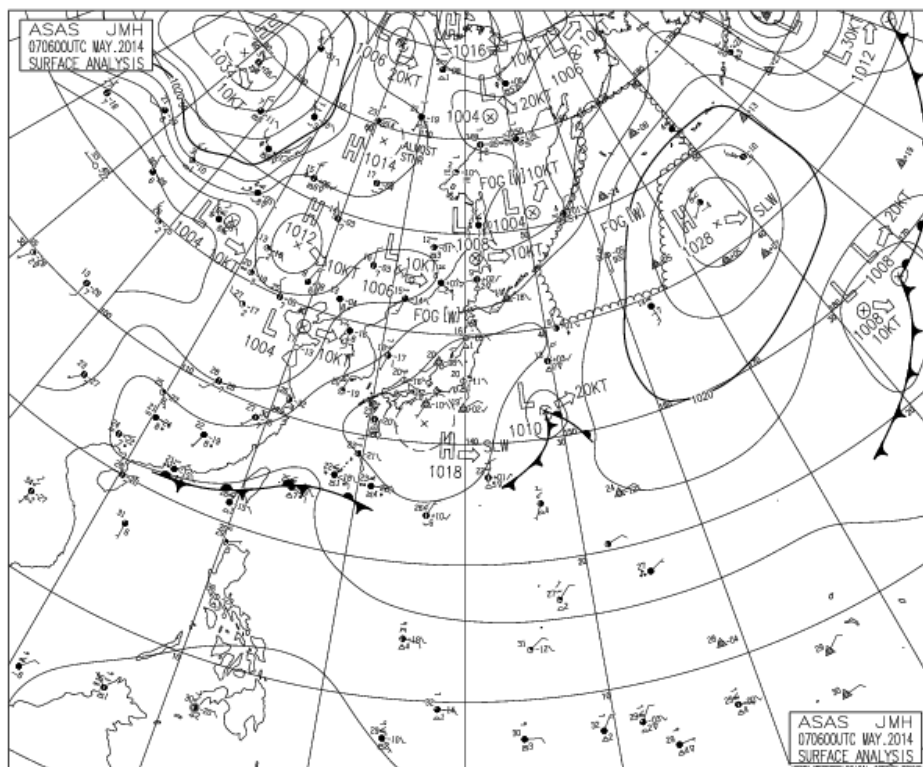


図 A1. 2006 年 5 月 7 日午前 6 時(世界標準時)の表面気圧図

図 A1 は、2006 年 5 月 7 日午前 6 時(世界標準時)の表面気圧図である。この図には、高気圧、低気圧が存在することが分かる。高気圧、低気圧を同定できるということは、高気圧、低気圧を除いた表面気圧の空間変化は非常に小さいことを意味している。気圧の空間変化がなければ、地衡流(風)の式より、圧力の空間微分はゼロになり、地衡流(風)はゼロになる。上空の風を考えると、中緯度帯では偏西風(ジェット気流)が年中吹いている。何故、偏西風が存在するのか、その理由を考えてみよう。

表面気圧とは、地球表面の鉛直上方にある空気の総質量が反映されたもので、これもニュートンの第二法則($F = M \times a$)で決まっており、言葉でこの関係を書きなおすと、

$$\text{気圧(力)} [F] = \text{空気の総質量} [M] \times \text{重力加速度} [g]$$

となる。地上気圧に空間変化がない場合には、地球表面の単位面積あたり、その上方に存在する空気の質量はどこでも同じであることを意味する。しかし、地球が球面であるため、赤道域は加熱域となり、空気は膨張しその密度は小さい。一方、極域は冷却域となり、空気の密度は大きい。大気層を空気柱に見立てて、その北半球での構造を模式的に描くと、図 A2 のようになる。

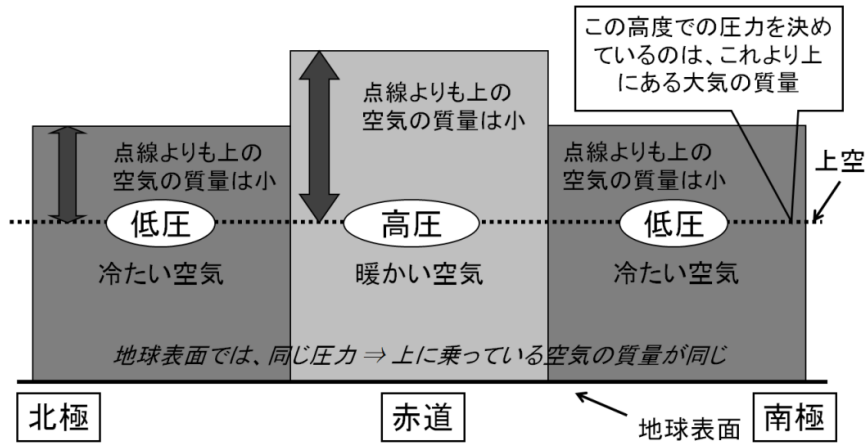


図 A2. 大気を空気柱に見立てたときの構造模式図

北半球では地衡流(風)は、気圧の高い方を右手に見て流れ(吹き)、南半球では、 f の符号がマイナスになるので、気圧の高い方を左手に見て流れる(吹く)。南北半球とも、冷たい空気と暖かい空気がせめぎ合う中緯度帯の上空では、地衡流(風)は、紙面の手前から裏に向かう。図 A2 から、上空での気圧は、密度の小さな方が高く、大きなほうが低くなっており、密度分布から上空の気圧(圧力)を求め風速を計算できることが示唆される。南北の気圧差は、地球表面から高度とともに増加し、ある高度で最大となる。さらに上方では高度とともに減少し、空気が存在しない高度になれば、圧力差はなくなる。地衡流の式から、風速が最大となるのは、気圧差が最大となる上空のある高度になるであろうことが分かる。図 A3 は、北半球の冬である12～2月の経度平均した東西風の鉛直分布を示したものである。上空13～14km付近に最大風速が見られることが分かる。この風が偏西風(ジェット気流)である。偏西風は、南北密度差(温度差)が大きく、上空の南北気圧差が大きな冬(半球)のほうが夏(半球)よりも強くなる。

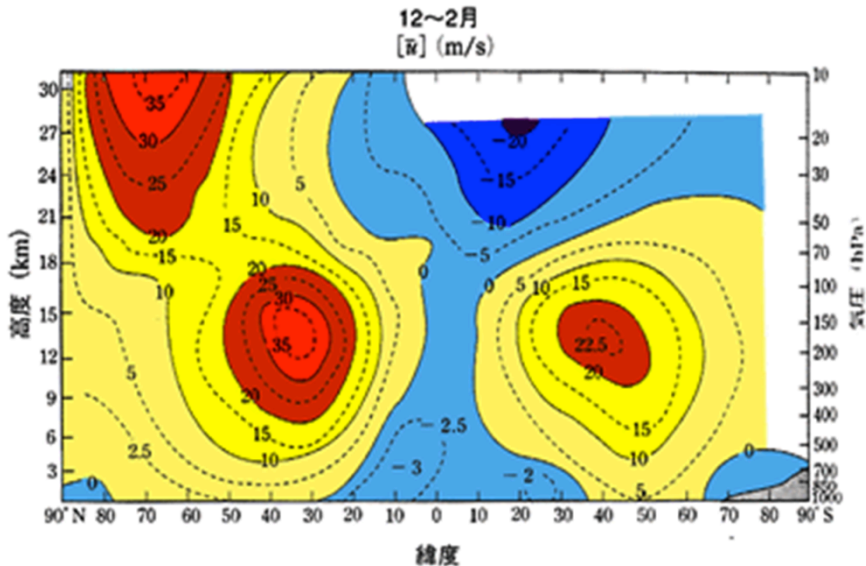


図 A3. 12月～2月における経度平均した東西風の鉛直分布

A1.3 地衡流計算

流体の運動方程式において水平圧力傾度とコリオリ力が(1)式のように釣り合っている流れを地衡流と言う(粘性力や加速度が圧力傾度やコリオリ力と比べ十分小さい場合).

$$fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (1)$$

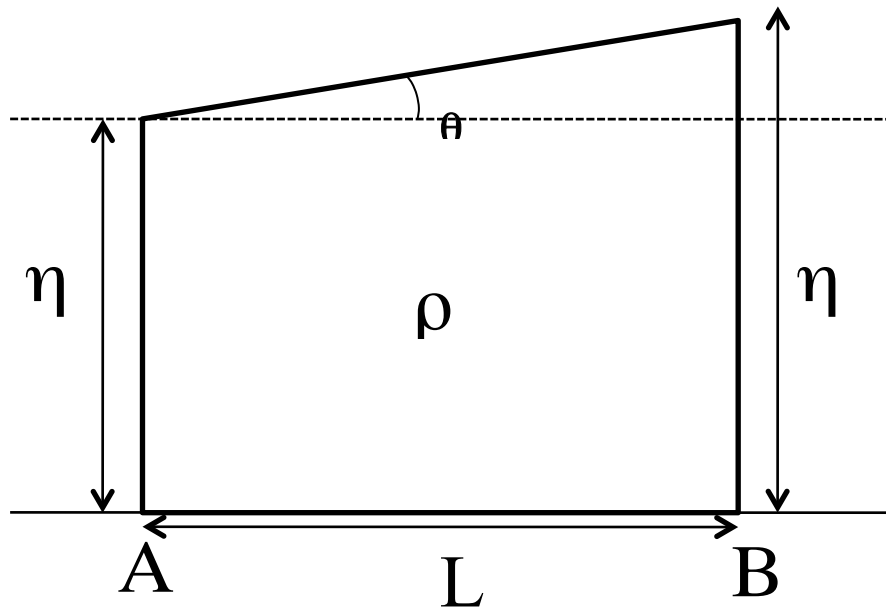
図 A4 の様に密度一様で(1)式のような地衡流平衡が成り立つ鉛直断面を考える. 水平面 A-B は水平面である. 点 A での圧力は静水圧の式($\partial p/\partial z = -\rho g$)から, $\rho g \eta_1$ であり同様に点 B では $\rho g \eta_2$ である. (1)式を浅水方程式で表記すると,

$$fu = -g \frac{\partial \eta}{\partial y}$$

であり, (1)式右辺の圧力傾度力は, $-g(\eta_2 - \eta_1)/L$ となる. すなわち,

$$fu = -g \tan \theta \quad (2)$$

という関係が成り立つ. ここで θ は海面と基準面のなす角度, L は A-B 間の距離である.



ここまでは、鉛直上方に z 座標をとり、考えている。

図 A4. 密度一様な地衡流平衡状態にある海水鉛直断面模式図

すなわち, 基準面からの海面(あるいは等圧面)の傾きがわかりさえすれば地衡流の算出が可能である.

しかしながら, 現実の海洋の密度は図 A4 とは異なり, 水平方向, 鉛直方向とも一様ではない. そこで, 海洋学では海水の比容(密度の逆数)を, 流速が分かっている基準面から積分し等圧面の傾きを推定し地衡流を求める. この方法を地衡流(力学)計算と呼ぶ. 今, 図 A5 のような地衡流の場を考えると, 等圧面 p_1, p_2 における流速 u_1, u_2 はそれぞれ(2)から

$$fu_1 = -g \tan \theta_1, \quad fu_2 = -g \tan \theta_2$$

である. ただし, θ_1, θ_2 はそれぞれの水平面に対する等圧面 p_1, p_2 の傾きである. 両辺を差し引くと,

$$\begin{aligned} f(u_1 - u_2) &= -g(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\ &= -g \left\{ \frac{B_1 C_1}{A_1 C_1} - \frac{B_2 C_2}{A_2 C_2} \right\} = -\frac{g}{L} \{ (z_1 - z_3) - (z_2 - z_4) \} \end{aligned} \quad (3)$$

ここからは、鉛直下方に z 座標をとり、考えている. 深度および圧力 p は下方に行くに従い増大するので, 対応がついて考えやすい。

ここで、 $g(z_1 - z_3)$ は重力加速度 g の鉛直積分で、鉛直下方に z 軸をとると、海面を基準としたときのジオポテンシャル $\Phi(z)$,

$$\Phi(z) = -\int_0^z g dz$$

の差[測点 B での等圧面 $p_1(z=-z_1)$ と $p_2(z=-z_2)$ におけるジオポテンシャルの差],

$$\Phi(B_1) - \Phi(B_2) = \left(-\int_0^{z_1} g dz \right) - \left(-\int_0^{z_3} g dz \right) = g(z_3 - z_1)$$

もしくは,

$$\int_{B_1}^{B_2} g dz = g(z_3 - z_1) \quad (4)$$

になっている. 静水圧近似の式より $g dz = (1/\rho) dp$ であるから(鉛直下方方向を正としているので符号が反転していることに注意), 測点 B の $B_1 B_2$ 間の平均密度 ρ_B の逆数である比容 α_B ($\alpha_B = 1/\rho_B$) を使えば, (4) 式は

$$\int_{B_1}^{B_2} g dz = \int_{P_1}^{P_2} \alpha_B dp$$

となる. 点 A についても同様に比容の鉛直積分であらわすと, (3) 式は

$$u_1 - u_2 = -\frac{1}{Lf} \left[\int_{P_1}^{P_2} \alpha_B dp - \int_{P_1}^{P_2} \alpha_A dp \right] \quad (5)$$

と書き換えることができる.

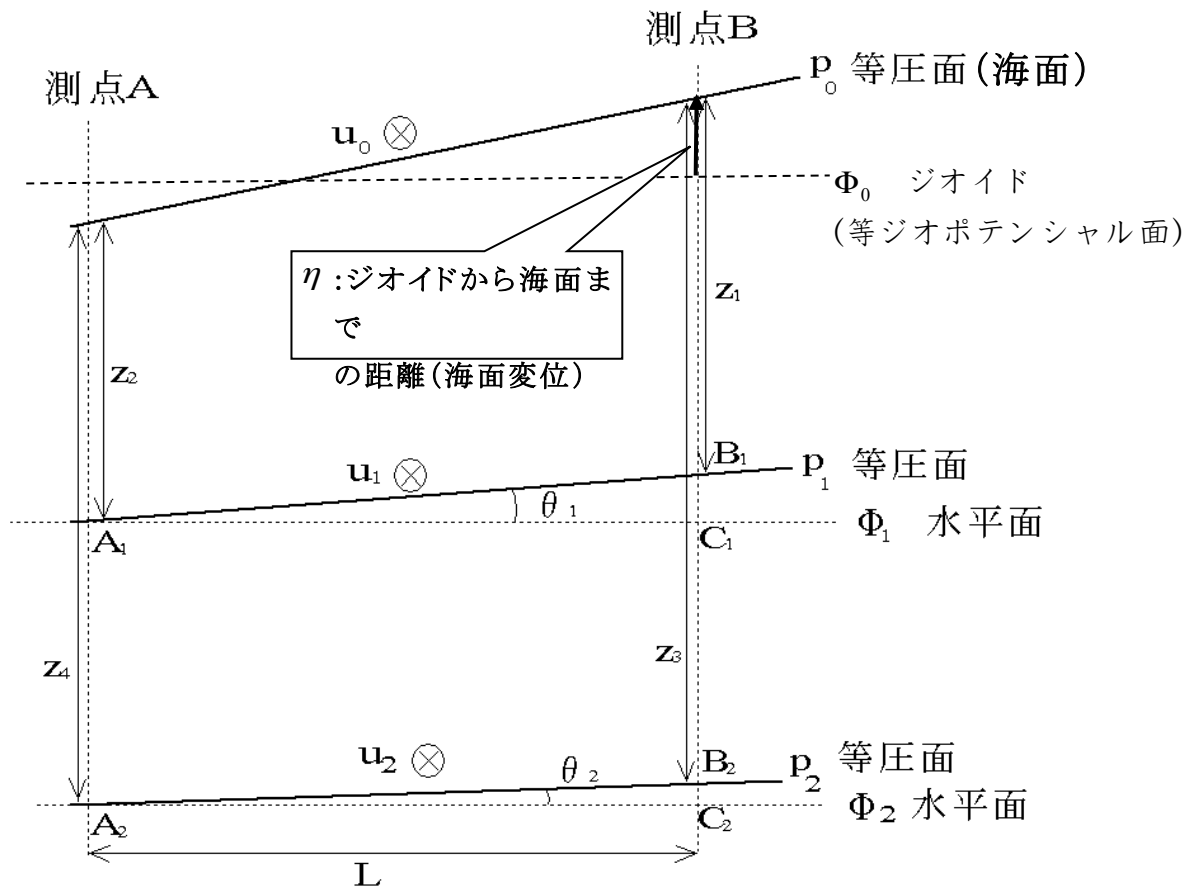


図 A5. 密度が空間的に変化する場合の鉛直断面模式図

等圧面 p_2 が水平面と平行である(つまり, Φ_2 が等ジオポテンシャル面に平行で, $u_2 = 0$)と仮定すれば(あるいは, u_2 が既知とすれば), (4)式から等圧面 p_1 での流速 u_1 を計算できる. 図 A5 の場合では測点 A よりも測点 B には密度の小さな水(比容の大きな水)があり, 等圧面が盛りあがっている. 簡単には, Φ_2 面上では測点 A と測点 B の圧力が同じであることを意味するから, 密度の小さな水がある測点 B のほうの水柱の高さは密度の大きな水がある測点 A の水柱のよりも高くないと圧力と同じにはならない. Φ_2 面よりも浅い深度では, 水中の高い測点 B の方が圧力が高くなる. 北半球 ($f > 0$) では地衡流は圧力の高いほうを右手に見て流れるので, このとき, 紙面の表から裏に向かう流れとなる.

具体的な計算について

地衡流計算には 2 点間の高さの差が分かれば良いが, CTD 観測は海面上の船から行っているので容易には分からない. そこで, 基準面を設定し, その面から海水の比容 α を圧力積分することにより(式(5)), ジオポテンシャル差(ジオポテンシャル距離^{※1}と呼ぶ)を求める. 一般的に流れが弱いと考えられる水深 1,000 m 以深を無流面(基準面)と仮定(設定)するが, ある深さの流れがわかっている場合はその深さを基準面とする. 計算については, 比容を直接積分すれば計算できるが, 有効桁数が多く計算が煩雑になることから, 一般的には比容のアノマリーを鉛直方向に積分する. 比容のアノマリー δ は

$$\delta = \alpha(S, T, p) - \alpha(35, 0, p) \quad (6)$$

であり, 塩分 35, 水温 0°C の海水の比容を基準(基準比容)とし, それから偏差(アノマリー)として定義する. この基準比容は, 全海洋で最も重い水の比容とほぼ同じである. ある深さ p_{i+1} を基準面(或いは無流面)としたとき, 比容のアノマリーから, 圧力 p_i 面でのジオポテンシャル

$$\text{アノマリー } \Delta\Phi \text{ は,} \quad \Delta\Phi = \int_{p_i}^{p_{i+1}} \delta dp \quad (7)$$

で計算できる. 鉛直方向の積分は圧力について行うのが正しいが, 圧力[dbar]と水深[m]では 1%程度の違いしかなく, 力学計算では 2 点の差を用いて計算するので深さ(m)で積分しても結果はほとんど変わらない. 同様の計算を 2 測点で行い(図 A5 参照), 同じ圧力面(深さ)でジオポテンシャルアノマリーの差を計算すれば, 次式により p_{i+1} 面 (Φ_{i+1} 面) に対する p_i 面 (Φ_i 面) の相対流速を計算することができる.

$$u_i - u_{i+1} = -\frac{1}{fL} (\Delta\Phi_B - \Delta\Phi_A) \quad (8)$$

ここで, f はコリオリ・パラメータ ($f = 2\Omega \sin \phi$, Ω は地球自転の角速度 (7.29×10^{-5}) ϕ は緯度), L は測点間の距離である.

他の流速測定と地衡流計算

(1) 直接測流(例: 流速計による係留観測, ADCP による観測, 漂流ブイの追跡観測など)

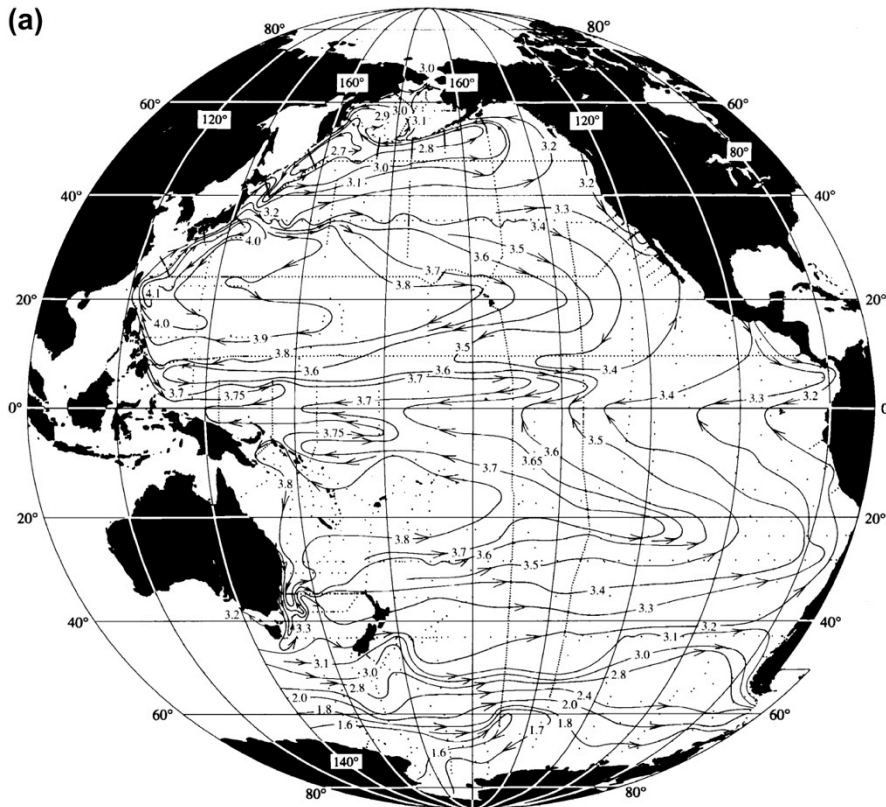
絶対流速を測定でき小さなスケールの現象の流れを測定するのに適しているが, 大規模な循環の平均的な流れの場を求めるのには必ずしも適しているわけではない. 地衡流と比較するためには, 地衡流が適用できる時間スケールで平滑化することが必要となる.

(2) 地衡流(力学)計算

水温・塩分を測定し, 密度分布を求めることで, 地衡流バランスの関係から流速を計算する. これにより得られる流れは基準圧力面に対する相対的な流れであり, 絶対流速ではない.

※1 ジオポテンシャル距離を 10[単位なし]で割った dynamic height も使われる. 単位は m^2/s^2 で距離の次元ではないことに注意. m^2/s^2 =dynamic meter とした海洋独自の単位も用いられている. これなら距離っぽい, $g(\sim 9.8m/s^2)$ ではなく 10 で割っているので, 後述の steric height anomaly の値とは微妙に違ってくる. 言葉的には dynamic が微妙な(モドキな)ところ. 実際の距離[高さ]の次元にしたものが steric height anomaly でジオポテンシャル距離を重力加速度 g で割ったものである. 浅水近似した地衡流の式(p52 上の欄)と式(8)を対比させると, $g\eta \sim \Delta\Phi$ の関係があることが分かるだろう. dynamic height に $10/g[m^{-1}\cdot s^{-2}]$ を乗じたものが海面高度(海面変位=ジオイドからの変位)と次元的にも比較できる steric height anomaly になる.

(a)

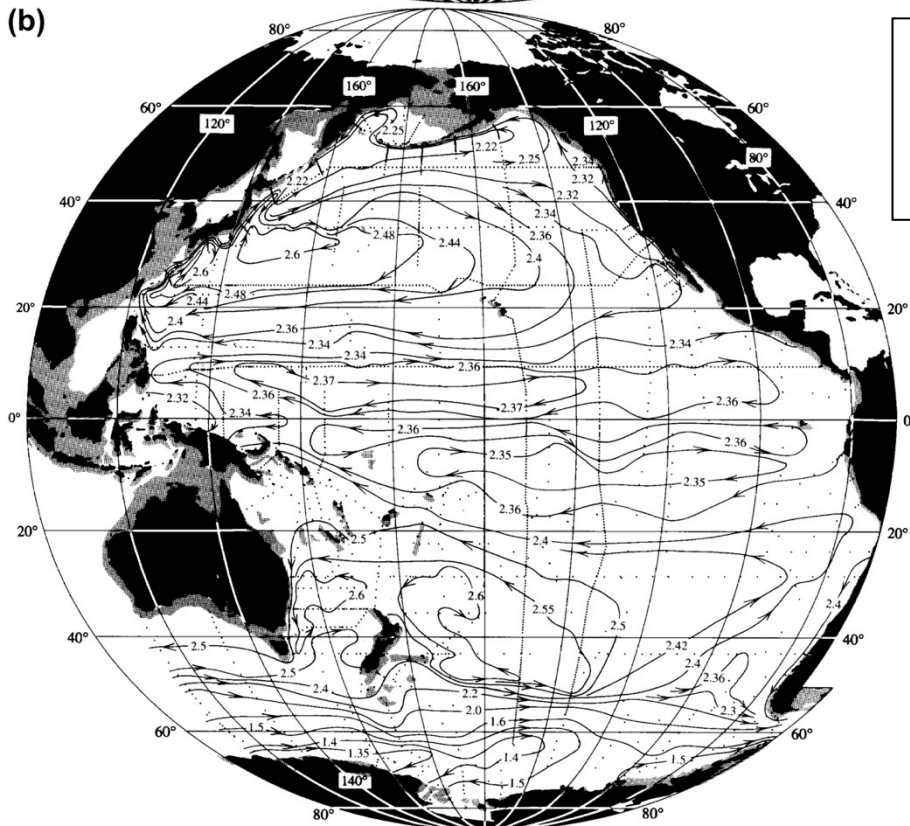


この図から、海面変位差は循環中心と周縁部で約1mであることが分かる。

東京湾口から八丈島付近へ至るわずか1日の観測で、太平洋の表層循環流量が求められる観測測線になっている。太平洋の大規模循環は海洋学実習Ⅱの海域に集約されている。

ほぼ、ウェッデル海定層水と同じ密度をもつ $S=35, T=0^{\circ}\text{C}$ の水に対してどれだけ膨張しているのかを計算しているので、世界中の海でプラスの値になる。

(b)



循環中心と周縁部での差が(a)の海面の場合よりも小さい。つまり、深い場所での流れのほう小さいことが分かる。

図 A6. ジオポテンシャル距離を10で割った値の分布。(a)海面(0 dbar 面), (b) 500dbar 面。(a)は海面変位にほぼ対応している。Reid(1997)より引用。流れが分かっている圧力面を基準として計算している。

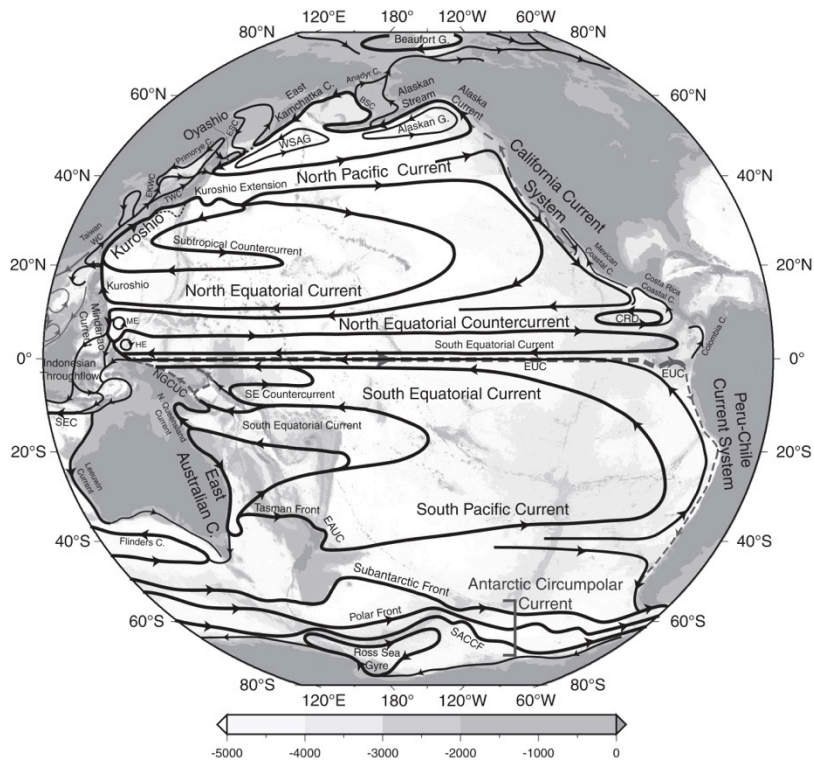


図 A7. 太平洋域の表層海流の模式図

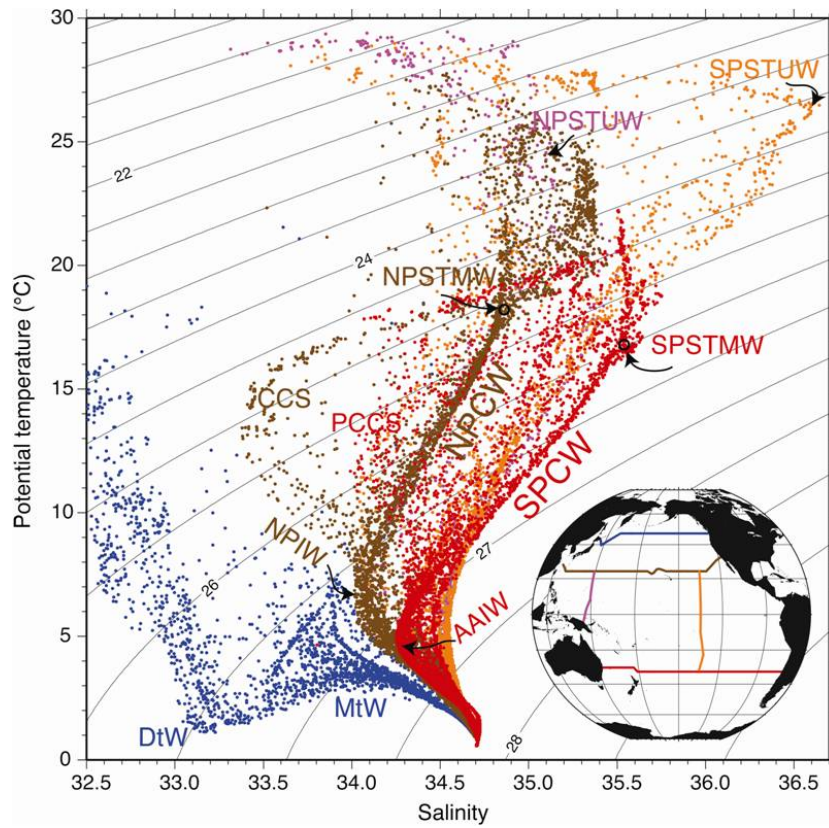


図 A8. 太平洋域の TS ダイアグラム(塩分-ポテンシャル水温図)

表 A1. 地衡流計算シート(計算例)

(測点番号:A, 緯度:41°55.00', 経度:50°09.00')

圧力 P [dbar] or [$\times 10^4$ Pa] or [$\times 10^4$ N \cdot m $^{-2}$]	水温 T [°C]	塩分 S	密度 ρ [kg \cdot m $^{-3}$]	比容 α [$\times 10^{-3}$ m 3 \cdot kg $^{-1}$]	$\alpha(35.0, P)$ [$\times 10^{-3}$ m 3 \cdot kg $^{-1}$]	比容アノ マリー δ [$\times 10^{-8}$ m 3 \cdot kg $^{-1}$]	比容アノ マリーの 平均 $\bar{\delta}$ [$\times 10^{-8}$ m 3 \cdot kg $^{-1}$]	$\bar{\delta} \times \Delta p$ [m 3 \cdot kg $^{-1}$ \cdot Pa] or [m 2 \cdot s $^{-2}$]	鉛直方向 の積分 $\sum(\bar{\delta} \times \Delta P)$ = $\Delta\Phi$
0	15.99	34.00	1024 .98157	0.9756273	0.9726620	296.53			7.153
							282.5	0.1413	
5	15.00	34.10	1025 .30103	0.9753233	0.9726395	268.38			7.011
							253.9	0.1270	
10	14.00	34.22	1025 .62964	0.9750109	0.9726170	239.39			6.884
							220.7	0.2207	
20	13.05	34.48	1026 .07007	0.9745923	0.9725720	202.03			6.664
							191.7	0.1917	
30	12.00	34.50	1026 .33594	0.9743398	0.9725269	181.29			6.472
							174.4	0.3488	
50	12.30	34.86	1026 .64722	0.9740444	0.9724369	167.54			6.123
							154.7	0.3868	
75	11.30	34.88	1026 .96509	0.9737429	0.9723244	141.85			5.736
							138.9	0.3473	
100	11.10	34.92	1027 .14551	0.9735719	0.9722120	135.99			5.389
							120.1	0.6005	
150	10.25	35.17	1027 .71875	0.9730288	0.9719876	104.12			4.789
							98.5	0.4925	
200	8.85	35.03	1028 .07361	0.9726930	0.9717635	92.95			4.296
							83.0	0.8300	
300	6.85	34.93	1028 .75745	0.9720465	0.9713163	73.02			3.466
							65.2	0.6520	
400	5.55	34.93	1029 .39417	0.9714452	0.9708705	57.47			2.814
							51.8	1.0360	
600	4.55	34.95	1030 .45532	0.9704448	0.9699830	46.18			1.778
							45.4	0.9080	
800	4.25	34.95	1031 .40881	0.9695477	0.9691010	44.67			0.870
							43.5	0.8700	
1000	3.90	34.95	1032 .36670	0.9686480	0.9682245	42.35			0.0

地球の半径: $a=6378136$ [m]

離心率: $e^2=0.006694470$

地球自転の角速度: $\Omega=7.29 \times 10^{-5}$ [s $^{-1}$]

$$\text{浅水方程式における地衡流バランス： } -fv = -g \frac{\partial \eta}{\partial x}, \quad fu = -g \frac{\partial \eta}{\partial y}$$



①測点番号:A, 緯度:41°55.00', 経度:50°09.00')

②測点番号:B, 緯度:41°28.00', 経度:50°09.00')

測点間の距離 $L=49857$ [m], $f=9.70 \times 10^{-5}$ [s⁻¹]

0[dbar]では, 2測点間の海面変位の差[水位差: $\Delta\eta$]になる. 海面変位とは, ジオイドからのズレ.

圧力 P [dbar]	測点: $\Delta\Phi_{\text{②}}$ [m ² ·s ⁻²]	測点: $\Delta\Phi_{\text{①}}$ [m ² ·s ⁻²]	ジオポテンシャル 距離の差: $\Phi_{\text{②}} - \Delta\Phi_{\text{①}}$ [m ² ·s ⁻²]		流速: $(\Delta\Phi_{\text{②}} - \Delta\Phi_{\text{①}})/fL$ [m·s ⁻¹]
0	7.941	7.153	0.788		0.163
5	7.855	7.011	0.844		0.175
10	7.776	6.884	0.892		0.184
20	7.638	6.664	0.974		0.201
30	7.513	6.472	1.041		0.215
50	7.271	6.123	1.148		0.237
75	6.975	5.736	1.239		0.256
100	6.676	5.389	1.287		0.266
150	6.072	4.789	1.283		0.265
200	5.465	4.296	1.169		0.242
300	4.299	3.466	0.833		0.172
400	3.321	2.814	0.507		0.105

の差(海面では水位差に対応):
 $\Delta\eta = (\Delta\Phi_{\text{②}} - \Delta\Phi_{\text{①}})/g$
[m]

600	1.927	1.778	0.149		0.031
800	0.908	0.870	0.038		0.008
1000	0.0	0.0	0.0		0.0

平均緯度 ϕ での緯度の変化 1 度に対する弧の長さ: $l_y = \frac{\pi}{180} \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \phi)^{\frac{3}{2}}}$

平均緯度 ϕ での経度の変化 1 度に対する弧の長さ: $l_x = \frac{\pi}{180} \frac{a \cos \phi}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \phi}}$

コリオリパラメータ: $f = 2\Omega \sin \phi$

付録 2

ちよっとひと休み・・・(その 1)

1. 船速 --海里とノット

現在も船の速度単位としてノット(kt)が使われる。1 ノットは、マイル/時である。ここでいうマイルは、今もアメリカで距離を表すのに使われるマイル(約 1,609 m)とは異なり、海里(シーマイル)で、約 1,852 m である。これは、メートル法の基になった地球の大きさと古代シュメール人が用いた 60 進法から定められた数である。すなわち、1海里は緯度 1 分(=60 分の 1 度)の長さ = $40,000 \text{ km} / (360^\circ \times 60 / 1^\circ) = 1.851851... \text{ km}$ となる。単位の根元に係わる理由をもった数である。

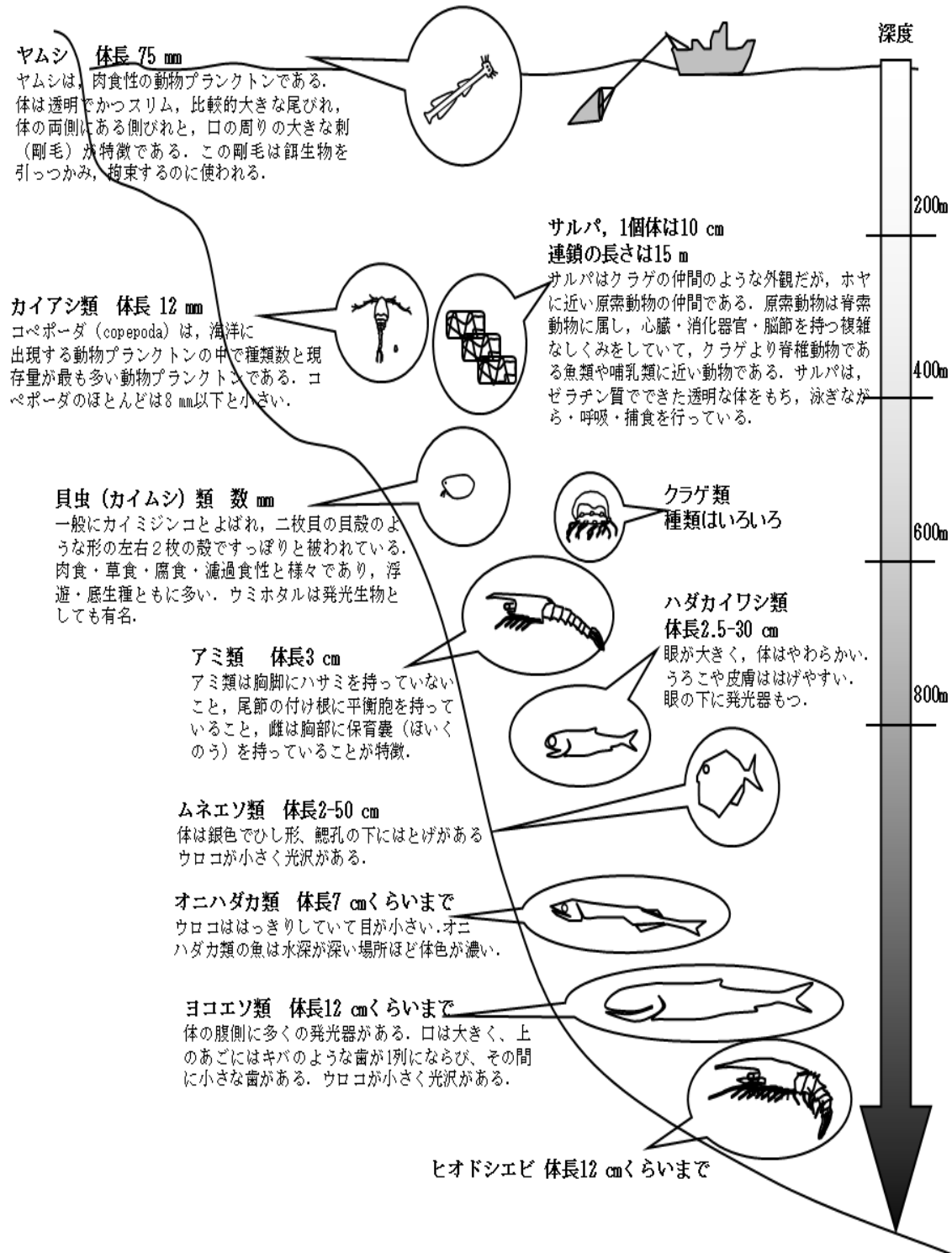
問題:1 ノットは、何 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$?

「ノット」の呼び名の由来は「結び目」である。昔は、先端に抵抗体をつけ、7.0 m 毎に結び目(knot=ノット)をつけた索(ロープ)を、走行中の船から海面に投入し、14 秒(砂時計で測った)間に出ていく結び目の数で、船速を測った。1海里 $\times (14' / 3,600')$ = 7.2 m であるのに 7.0 m を用いたのは、航海の安全のため速さを大きく見積もるためだったらしい。

2. 方位角

風が吹いて来る方向、水が流れて行く方向や、船が進んで行く方向を表す角度の単位として、海では東南東などの方位を用いる。平面角を 4, 8, 16, 32 に分けるのを点(point)方式という。32 点の場合は、北(ノース)、北北東(ノースノースイースト)、北東微北(ノースイーストバイノース)などと呼ぶ。

ちょっとひと休み・・・(その2)
 プランクトンの鉛直分布



ちょっとひと休み・・・(その3)

海鳥について

海鳥は、生涯の大半を海で過ごし、繁殖期のみ陸上で生活する。鳥類は約9,000種が知られているが、海鳥はそのうちのわずか3%(およそ300種)に過ぎない。地球の表面積の71%を占める海は、多くの生物にとって「恵みの海」であると同時に、陸上生活に適応した生物には厳しく不利な環境でもある。このような不利を克服したのが現生の海鳥である。海鳥類は、小型浮魚類、イカ類、動物プランクトンなどを摂餌する。海洋生態系における重要構成員である。しかし、海中を主な生育域として利用するのではなく、空中や海表面を広範囲に移動しながら餌を探索するため、摂餌によるエネルギーの獲得は非常に重要である。食性は、雑食性のカモメ類を除いて、魚か無脊椎動物(イカやオキアミなど)を食べる肉食性であるため、海洋における食物ピラミッドの頂点に位置している。

海鳥類は大きく4つのグループに分類されている。①ペンギン目、②ミズナギドリ目(アホウドリ科、ミズナギドリ科、ウミツバメ科)、③ペリカン目(ネッタイチョウ、ウ、グンカンドリなど)、④チドリ目(カモメ、アジサシ、ウミスズメなど)である。

下記には伊豆小笠原諸島域の主要な海鳥類について、特に5、6月に伊豆小笠原諸島域および東京湾・相模湾でよく見られる海鳥について、Minami et al. (2000)、浮遊生物学研究室出身の松本祐子さん、および宮崎唯史航海士(現在は、青鷹丸船長)からの情報に基づいて、種類とその特徴を記したものである。写真は、日本の鳥550(文一総合出版)から転載した。

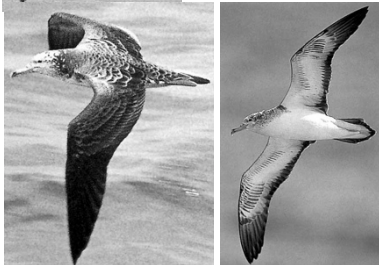
5-6月頃に伊豆小笠原諸島域で見られる海鳥

第1位 オーストンウミツバメ (Tistram's storm-petrel)



- 翼開長は56 cmとツバメより大きく、翼上面に逆ハの字が明瞭
- 全身は黒褐色で、地味

第2位 オオミズナギドリ (streaked shearwater)



- 翼開長は122 cmと大型、翼上面は黒褐色だが体下面は白いので遠くからは2種類の鳥が群れているようにみえる
- くちばしはピンク色かみずいろ
- 臆病で船には近づかないが、風が強いとよく見かける

ミズナギドリは見分けにくい!



ハイロミズナギドリ (sooty shearwater)

オオミズナギドリよりも体が小さく、翼上面も体下面も黒褐色だが、体下面はやや淡い



ハシボソミズナギドリ (short-tailed shearwater)

ハイロミズナギドリよりも体が少し小さく、くちばしが短い

第3位 コアホウドリ (laysan albatross)



- ・翼開長は200 cmと非常に大きく、顔が特徴的
- ・絶滅危惧種
- ・西部北太平洋に広く分布する渡り鳥
- ・繁殖地は小笠原諸島の鳥島
- ・餌場は、潮目や大陸斜面およびその縁辺部
遭遇したらラッキー☆

鳥島を繁殖地とするその他のアホウドリ

アホウドリ (short-tailed albatross)



- ・翼開長は230 cm
- ・絶滅危惧種
- ・北部北太平洋に分布
- ・繁殖地は小笠原諸島の鳥島



クロアシアホウドリ (black-footed albatross)

- ・翼開長は210 cm
- ・東部北太平洋に分布
- ・繁殖地は小笠原諸島の鳥島

5-6月頃に東京湾・相模湾で見られる海鳥



カワウ (great cormorant)

- ・翼開長は130 cm, 全長は80 cmと大型
- ・台場にコロニーがある. ときどきポンドにもいる
- ・鵜飼に使うのは「ウミウ」. ウミウは岩礁に住むのでポンドには居ない
- ・カワウとウミウはとても似ているが顔の色が多少違う



コアジサシ (little tern)

- ・翼開長は55 cm, 全長は22 cmと小さい
- ・ホバーリング(翼と尾を高速で動かし空中の一点に止まる)して海中の魚を真上から狙い、急降下して捕獲する.

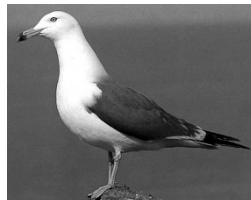


ユリカモメ (black-headed gull)

- ・翼開長は100 cm, 全長は40 cm
- ・東京湾でよく見る, ハトより少し大きい小型カモメ
- ・夏羽は頭が黒いが, もうすぐ渡ってしまうのでそろそろ居なくなる

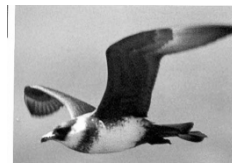
ウミネコ (black-tailed gull)

- ・翼開長は120 cm, 全長は45 cm
- ・港でよく見る, ユリカモメよりも一回り大きい
- ・くちばしは黄色く, その先端は赤でその次は黒
- ・足が黄色



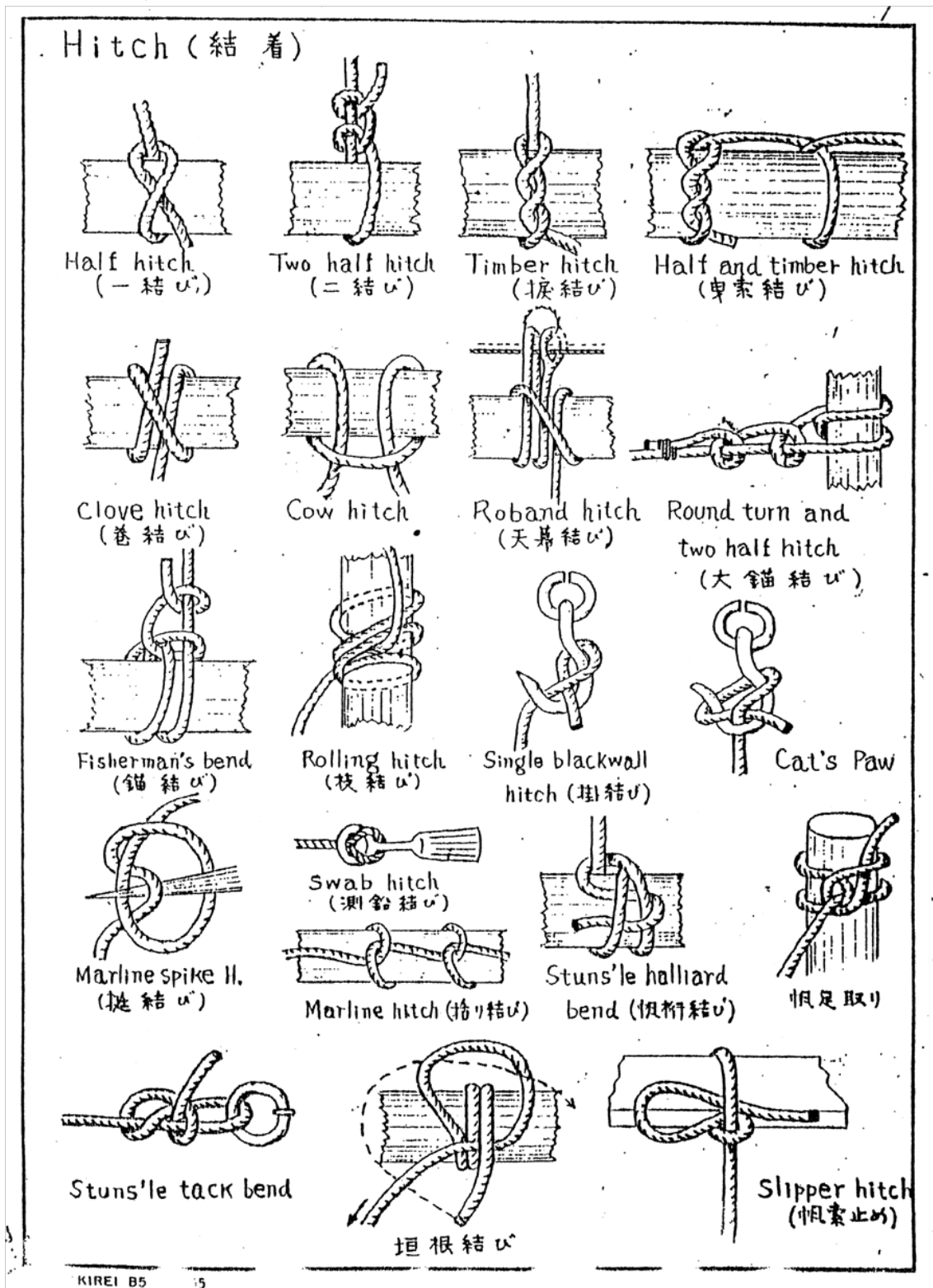
トウゾクカモメ (pomarine jaeger)

- ・翼開長は125 cm, 全長は50 cm
- ・相模湾でよく見る
- ・ウミネコやセグロカモメを追い立てている黒いカ



モメは, たぶんトウゾクカモメ

付録3
代表的な結索法



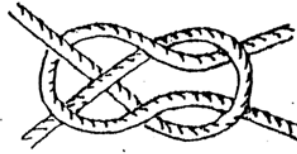
Bend (縛着)



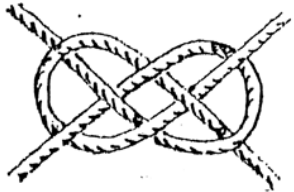
Single sheet bend
or Swab hitch
(一重拵ぎ)



Double sheet bend
(二重拵ぎ)



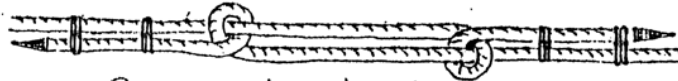
Single carrick bend.



Double carrick bend



Over carrick bend

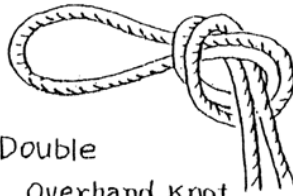


Reeving line bend

Knot (結節)



Overhand knot
(止め結び)



Double
Overhand knot



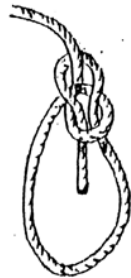
Figure of
eight knot



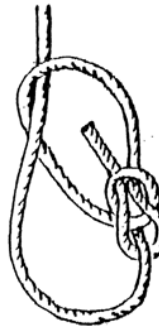
Stevedor's
knot



Reef knot or
Square knot



Bowline knot



Running bowline



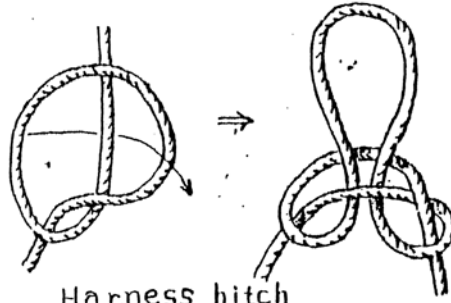
Bowline on the bight



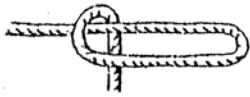
Two bowline (舳拵ぎ)



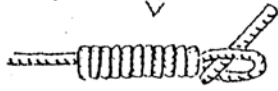
Sheep shank
(縮の結び)



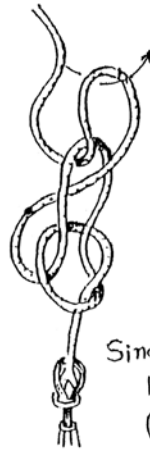
Harness hitch



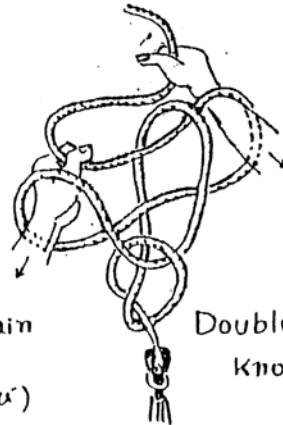
Heaving line knot



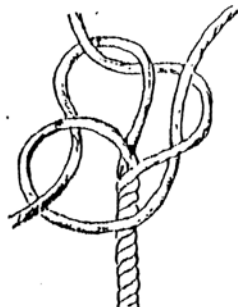
Rope yarn knot
(糸結び)



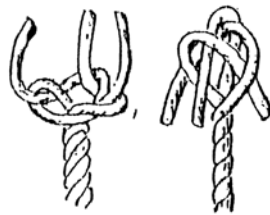
Single chain knot
(鎖結び)



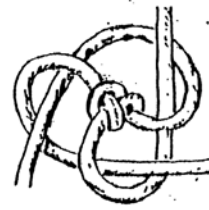
Double chain knot



Wall knot
(元結びカ-法)



Crown knot
(元結びカ=法)



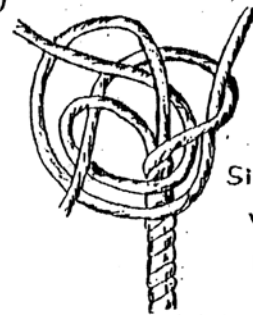
Crown and wall



Manrope knot (握索結び)



先づ wall and crown
を作り、その各々の
strandに沿って
strandを挿入し作成
する。



Single matthew
walker knot
(取手結び)