

Shinsei-maru Cruise Report KS-19-21

Quantifying nitrate dynamics in Sea of Japan using natural
triple oxygen isotopes as tracers

Sea of Japan

Oct.19,2019-Oct.23,2019



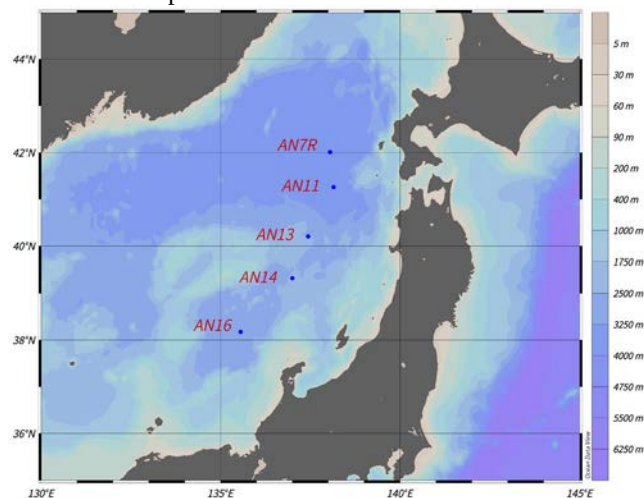
Joint Usage/Research Center for Atmosphere and Ocean
Science (JURCAOS)
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
(JAMSTEC)

Contents

1. Cruise Information	3
2. Research Proposal and Science Party	3
3. Research Activities	3
4. Sampling apparatus information	5
5. Sample/data information	6
6. Preliminary results	9
7. Notice on Using	11

1. Cruise Information

- Cruise ID: KS-19-21
- Name of vessel: Shinsei-maru
- Title of cruise: Quantifying nitrate dynamics in Sea of Japan using natural triple oxygen isotopes as tracers
- Chief Scientist [Affiliation]: Urumu Tsunogai [Nagoya University]
- Cruise period: Oct.19,2019-Oct.23,2019
- Ports of departure / arrival: Hakodate/Toyama
- Research area: Sea of Japan
- Research map



2. Research Proposal and Science Party

- Title of proposal: Quantifying nitrate dynamics in Sea of Japan using natural triple oxygen isotopes as tracers
- Representative of Science Party [Affiliation]: Tsunogai, Urumu, PhD [Nagoya University]
- Science Party (List) [Affiliation, assignment etc.]
Nakagawa, Fumiko, PhD [Nagoya University]
Itoh, Masanori, PhD [Nagoya University]
Mineno, Yuto [Nagoya University]
Suzuki, Kensuke [Nagoya University]
Tsunekawa, Shun [Nagoya University]
Mizuno, Hiroka [Nagoya University]
Lai, Peng [Nagoya University]
Lan, Hui [Nagoya University]
Fei, Cuixia [Nagoya University]
Huang, Tianzheng [Nagoya University]
Takahashi, Natsuko [Nagoya University]
Kameyama, Sohiko, PhD [Hokkaido University]
Ariga, Shiori [Tokai University]

3. Research Activities

- Quantifying nitrate dynamics in Sea of Japan using natural triple oxygen isotopes as tracers

窒素(N)の主要存在形態である硝酸(NO_3^-)は、アンモニアとともに海水中の窒素栄養塩に分類され、海域によって一次生産(光合成)の制限元素となっている。海洋に対する人為起源の窒素負荷量は年々増大しており、これが一次生産量の無用な増大や、生態系の変質を引き起こす可能性が懸念されている。このため化学系の観測航海において NO_3^- 濃度の定量は必須の観測項目となっており、定点における時系列観測も頻繁に行われている。しかし、仮に窒素負荷量の増加が一次生産量の増加を引き起こしたとしても、 NO_3^- 同化速度(**Fig. 1**中の F_{assim})も同時に増加していることになるので、必ずしも

NO_3^- 濃度が増加するわけではない。窒素負荷量増大の影響を定量化するには、 NO_3^- の同化速度 (Fig. 1 中の F_{assim}) や、硝化速度 (Fig. 1 中の F_{nit}) といった物質循環速度が、より重要な観測項目である。しかしながら、 ^{15}N 等のトレーサの添加と培養を組みわせるような従来からの NO_3^- 同化速度の測定手法は、手順がきわめて煩雑で、信頼出来る報告例は限られている。硝化速度はさらに難しく、信頼に足る報告値は国内ではほとんど存在しない。これを解決するには、より簡便で、より確度の高い硝化速度や NO_3^- 同化速度定量法の確立が必要である。これは海洋における炭素循環や総一次生産量の時間変化や海域変化の定量化にも貢献する。

酸素には三種の安定同位体が (^{16}O , ^{17}O , ^{18}O) が存在し、天然トレーサーとして広く利用されてきた。2000 年代に入ると、大気中の硝酸 (HNO_3) の酸素安定同位体比に、三酸素同位体異常 (同位体間の質量の違いに由来する同位体分別では説明できない同位体組成の異常; $\Delta^{17}\text{O}$ 値 $= \delta^{17}\text{O} - 0.52 \times \delta^{18}\text{O}$ で大きさが定義される) が見つかった。この $\Delta^{17}\text{O}$ 値は一般の化学反応に伴う同位体分別では変化しないため、海洋の溶存 NO_3^- の $\Delta^{17}\text{O}$ 値は、大気沈着由来の NO_3^- と硝化由来の NO_3^- の混合比を反映し、さらに混合比は供給速度比の積算値を反映する。そこで本研究は、 NO_3^- の $\Delta^{17}\text{O}$ 値を、海水中の NO_3^- の硝化速度 (F_{nit}) や NO_3^- 同化速度 (F_{assim}) の定量に活用する (Tsunogai et al., 2011; 2018)。水平・鉛直の両方向に均一な海域に溶存する NO_3^- の平均 $\Delta^{17}\text{O}$ 値 ($\Delta^{17}\text{O}_{\text{ocean}}$) は、大気沈着を経て供給される NO_3^- ($\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$) と、海洋内部の硝化反応で生成し、深層水の湧昇を経て供給される NO_3^- ($\text{NO}_3^-_{\text{re}}$) の供給速度比を反映するので、 $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ の沈着速度 (F_{atm}) が既知量なら、 $\Delta^{17}\text{O}_{\text{ocean}}$ から F_{nit} や F_{assim} を定量化出来る (Fig. 1)。また、鉛直方向に不均一な海域であれば、水深 (密度) 毎の NO_3^- 濃度と $\Delta^{17}\text{O}_{\text{ocean}}$ を実測して各層に分けて同様に計算することで、 F_{nit} や F_{assim} を層別に定量化出来る。

本申請代表者は、平成 29-32 年度の科研費基盤研究 (A) の支援を受け、世界に先駆けて本手法 ($\Delta^{17}\text{O}$ 法) のアイデアを提示するとともに、琵琶湖や摩周湖といった湖沼をフィールドに、この $\Delta^{17}\text{O}$ 法観測を行い、湖内の F_{nit} や F_{assim} の定量化に成功した (Tsunogai et al., 2018)。そして、最終目標である海洋における $\Delta^{17}\text{O}$ 法観測に挑戦するため、本観測航海を企画した。

本研究が提案する新手法は、現存量を測定するだけで物質循環速度の定量を実現するもので、培養を利用しない点が従来法と大きく異なり、画期的かつ世界に類を見ない。本手法が確立すると、物質循環速度の定量は従来よりもはるかに簡便になるため、観測が広く一般化・普遍化し、データの蓄積速度が飛躍的に向上することが期待される。また、窒素循環速度定量値の確度や信頼度も飛躍的に向上するので、各海域における窒素循環速度の経時変化が容易に検出出来るようになり、人為的な窒素負荷量の変化が引き起こす海洋環境や海洋生態系の擾乱が、より明確に評価出来るようになる。さらに、各海域の海洋生態系内の窒素循環や、一次生産の制限元素に関する学術的な理解が大きく進展する。今回は初の海洋観測であるため、試料採取や分析に習熟した化学系研究者によって行われる計画となっているが、その恩恵は、生物地球化学や水産学、微生物学などの幅広い分野に及ぶもので、学際性・先進性の大きな研究である。

●研究実施内容

大気化学モデルから $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ の沈着速度 (F_{atm}) が高精度に求められる日本海で観測を行う。計 8 箇

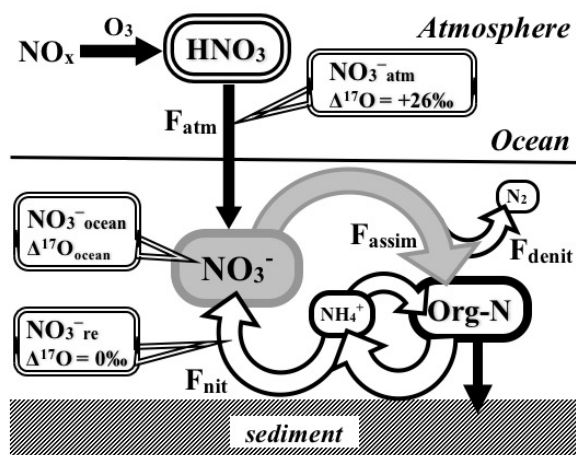


Fig. 1 海洋を鉛直および水平に均一とした場合を例に示した NO_3^- を中心とした窒素循環系の模式図。

所の観測点を設定し、各観測点において NO_3^- 濃度とその $\Delta^{17}\text{O}$ 値の鉛直分布を、同一年に 1 ヶ月以上の間隔を空けて計 2 回実測し、その結果と大気化学輸送モデルから求めた F_{atm} から、日本海表層水中の硝化速度 (F_{nit}) や NO_3^- 同化速度 (F_{assim}) の鉛直分布を 10-30 m 間隔で定量化する。また、同時に $^{15}\text{NO}_3^-$ 等の人工トレーサーを用いた従来法(培養法)を用いて F_{assim} を実測して結果を比較することで、新手法の信頼性(確度)を評価する。夏季は表面水中の NO_3^- 濃度が極めて低い ($< 1 \mu\text{mol/L}$) ことが予想されるため、近年代表者らが開発した内標準法を用いて、 $\Delta^{17}\text{O}$ 値を測定する。深層水中の NO_3^- 濃度と $\Delta^{17}\text{O}$ 値の鉛直分布から、水柱中の硝化速度 (F_{nit}) や脱窒速度 (F_{denit}) の算出にも挑戦する他、計 2 箇所の観測点で表層の海底堆積物を採取し、堆積物表層における F_{nit} や F_{denit} も実測する。さらに硝化速度との関連から、深層水も含めた溶存酸素の消費速度や循環に関連する各種パラメータや、さらに大気からの窒素沈着との関連から、大気下層—海洋表層間の物質相互作用に関する各種パラメータも同時に観測を実施する。

2019 年中に行われる計 2 回の観測航海のうち、1 回目は KS-19-11 次航海として 2019 年 6 月に実施済みであり、KS-19-21 次航海は、2 回目として計画・実施されたものである。4 章に一覧を示したデータの取得や解析は、本クルーズレポート執筆時点では途上にある。ここでは 5 章に初期結果を中心に図示するに留めて、詳細の記述は割愛する。

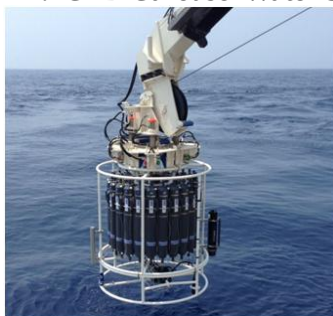
References

Tsunogai, U., T. Miyauchi, T. Ohyama, D.D. Komatsu, M. Ito, and F. Nakagawa (2018) Quantifying nitrate dynamics in a mesotrophic lake using triple oxygen isotopes as tracers. *Limnology and Oceanography*, **63**, Issue S1, S458–S476.

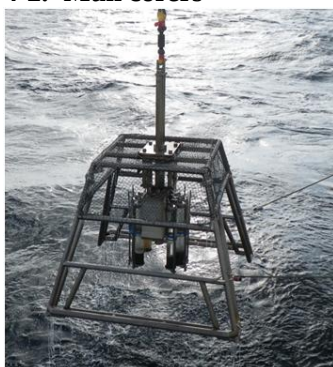
Tsunogai, U., S. Daita, D.D. Komatsu, F. Nakagawa, and A. Tanaka (2011) Quantifying nitrate dynamics in an oligotrophic lake using $\Delta^{17}\text{O}$. *Biogeosciences*, **8**, 687-702.

4. Sampling apparatus information

4-1. CTD Carousel Water Sampler (CTD: SBE 9 plus, Max. depth = 6800 m)



4-2. Multi corers



5. Sample/data information

5-1. CTD data (water column)

Management office: Nagoya University

Manager: Tsunogai, Urumu

Station, location, date/time, depth range

Stn.AN7R, 41°59.981' N, 138°03.089'E, 2019/10/20 4:05-7:02 (JST), 0-3633m

Stn.AN11, 41°14.946' N, 138°09.034'E, 2019/10/20 20:02-21:38 (JST), 0-1000m

Stn.AN13, 40°12.158' N, 137°26.096'E, 2019/10/21 04:48-05:42 (JST), 0-1000m

Stn.AN14-1, 39°19.201' N, 137°00.006'E, 2019/10/21 12:04-12:20 (JST), 0-200m

Stn.AN14-2, 39°19.217' N, 137°00.001'E, 2019/10/21 12:44-15:29 (JST), 0-2393m

Stn.AN14-3, 39°19.209' N, 137°00.018'E, 2019/10/21 18:07-18:53 (JST), 0-800m

Stn.AN16, 38°10.2784' N, 135°32.905'E, 2019/10/22 4:18-6:21 (JST), 0-2880m

5-2. Chlorophyll a concentration (water column)

Stn.AN7R, location: 41°59.981' N, 138°03.089'E, depth range: 0-150m, 9 layers, date: 2019/10/20

Stn.AN11, location: 41°14.946' N, 138°09.034'E, depth range: 0-150m, 9 layers, date: 2019/10/20

Stn.AN13, location: 40°12.158' N, 137°26.096'E, depth range: 0-150m, 9 layers, date: 2019/10/21

Stn.AN14-3, location: 39°19.209' N, 137°00.018'E, depth range: 0-150m, 9 layers, date: 2019/10/21

Stn.AN16, location: 38°10.2784' N, 135°32.905'E, depth range: 0-150 m, 9 layers, date: 2019/10/22

Management office: Nagoya University

Manager: Tsunogai, Urumu

5-3. Nutrients concentration (water column)

Stn.AN7R, location: 41°59.981' N, 138°03.089'E, depth range: 0-3633m, 21 layers, date: 2019/10/20

Stn.AN11, location: 41°14.946' N, 138°09.034'E, depth range: 0-1000m, 16 layers, date: 2019/10/20

Stn.AN13, location: 40°12.158' N, 137°26.096'E, depth range: 0-1000m, 16 layers, date: 2019/10/21

Stn.AN14-2, location: 39°19.217' N, 137°00.001'E, depth range: 0-2393m, 4 layers, date: 2019/10/21

Stn.AN14-3, location: 39°19.209' N, 137°00.018'E, depth range: 0-800m, 15 layers, date: 2019/10/21

Stn.AN16, location: 38°10.2784' N, 135°32.905'E, depth range: 0-2880m, 22 layers, date: 2019/10/22

Management office: Nagoya University

Manager: Tsunogai, Urumu

5-4. Stable isotopic compositions of nitrate (water column)

Stn.AN7R, location: 41°59.981' N, 138°03.089'E, depth range: 0-3633m, 21 layers, date: 2019/10/20

Stn.AN11, location: 41°14.946' N, 138°09.034'E, depth range: 0-1000m, 16 layers, date: 2019/10/20

Stn.AN13, location: 40°12.158' N, 137°26.096'E, depth range: 0-1000m, 16 layers, date: 2019/10/21

Stn.AN14-2, location: 39°19.217' N, 137°00.001'E, depth range: 0-2393m, 4 layers, date: 2019/10/21

Stn.AN14-3, location: 39°19.209' N, 137°00.018'E, depth range: 0-800m, 15 layers, date: 2019/10/21

Stn.AN16, location: 38°10.2784' N, 135°32.905'E, depth range: 0-2880m, 22 layers, date: 2019/10/22
Management office: Nagoya University
Manager: Tsunogai, Urumu

5-5. Nitrification rates (water column)

Stn.AN7R, location: 41°59.981' N, 138°03.089'E, depth range: 0-3633m, 5 layers, date: 2019/10/20
Stn.AN14-3, location: 39°19.209' N, 137°00.018'E, depth range: 0-800m, 5 layers, date: 2019/10/21
Management office: Nagoya University
Manager: Tsunogai, Urumu

5-6. Dissolved oxygen (DO) concentration (water column)

Stn.AN7R, location: 41°59.981' N, 138°03.089'E, depth range: 0-3633m, 8 layers, date: 2019/10/20
Stn.AN11, location: 41°14.946' N, 138°09.034'E, depth range: 0-1000m, 9 layers, date: 2019/10/20
Stn.AN13, location: 40°12.158' N, 137°26.096'E, depth range: 0-1000m, 9 layers, date: 2019/10/21
Stn.AN14-2, location: 39°19.217' N, 137°00.001'E, depth range: 0-2393m, 2 layers, date: 2019/10/21
Stn.AN14-3, location: 39°19.209' N, 137°00.018'E, depth range: 0-800m, 6 layers, date: 2019/10/21
Stn.AN16, location: 38°10.2784' N, 135°32.905'E, depth range: 0-2880m, 8 layers, date: 2019/10/22
Management office: Nagoya University
Manager: Tsunogai, Urumu

5-7. Stable isotopic compositions of DO (water column)

Stn.AN7R, location: 41°59.981' N, 138°03.089'E, depth range: 0-3633m, 21 layers, date: 2019/10/20
Stn.AN14-2, location: 39°19.217' N, 137°00.001'E, depth range: 0-2393m, 7 layers, date: 2019/10/21
Stn.AN14-3, location: 39°19.209' N, 137°00.018'E, depth range: 0-800m, 15 layers, date: 2019/10/21
Management office: Nagoya University
Manager: Tsunogai, Urumu

5-8. DO consumption rates (water column)

Stn.AN7R, location: 41°59.981' N, 138°03.089'E, depth range: 0-3633m, 14 layers, date: 2019/10/20
Stn.AN14-2, location: 39°19.217' N, 137°00.001'E, depth range: 0-2393m, 3 layers, date: 2019/10/21
Stn.AN14-3, location: 39°19.209' N, 137°00.018'E, depth range: 0-800m, 9 layers, date: 2019/10/21
Management office: Nagoya University
Manager: Tsunogai, Urumu

5-9. Concentration and stable isotopic compositions of methane and nitrous oxide (water column)

Stn.AN7R, location: 41°59.981' N, 138°03.089'E, depth range: 0-3633m, 16 layers, date: 2019/10/20
Stn.AN11, location: 41°14.946' N, 138°09.034'E, depth range: 0-1000m, 11 layers, date: 2019/10/20
Stn.AN14-2, location: 39°19.217' N, 137°00.001'E, depth range: 0-2393m, 7 layers, date: 2019/10/21
Stn.AN14-3, location: 39°19.209' N, 137°00.018'E, depth range: 0-800m, 10 layers, date: 2019/10/21

Stn.AN16, location: 38°10.2784' N, 135°32.905'E, depth range: 0-2880m, 17 layers, date: 2019/10/22

Management office: Nagoya University
Manager: Tsunogai, Urumu

5-10. Sediment samples

Management office: – (all the samples had been discarded after analyses on board)

Manager: – (all the samples had been discarded after analyses on board)

Station No., location, depth, date, sampling device, length:

Stn. AN7R, 41°59.986' N, 138°02.974'E, 3,699m, 2019/10/20 (JST), Multiple corers, ca. 50cm length

Stn. AN14, 39°19.209' N, 137°00.018'E, 2,440m, 2019/10/21 (JST), Multiple corers, ca. 50cm length

5-11. Concentration and stable isotopic compositions of methane (pore water in sediments)

Stn. AN7R, 41°59.986' N, 138°02.974'E, 3,699m, depth range: 5-15 cmbsf, 3 layers, date: 2019/10/20 (JST)

Stn. AN14, 39°19.209' N, 137°00.018'E, 2,440m, depth range: 5-30 cmbsf, 6 layers, date: 2019/10/21 (JST)

Management office: Nagoya University
Manager: Tsunogai, Urumu

5-12. Nitrification and denitrification rates (sea water – sediments interface)

Stn. AN7R, 41°59.986' N, 138°02.974'E, 3,699m, date: 2019/10/20 (JST)

Stn. AN14, 39°19.209' N, 137°00.018'E, 2,440m, date: 2019/10/21 (JST)

Management office: Nagoya University
Manager: Tsunogai, Urumu

5-13. Stable isotopic compositions of water vapor (air)

Total number of samples: 13 (sampled every 4 to 6 hours during ship traveling)

Management office: Nagoya University
Manager: Tsunogai, Urumu

5-14. Stable isotopic compositions of nitrate (water column)

Stn.AN7R, location: 41°59.981' N, 138°03.089'E, depth range: 0-3633m, 21 layers, date: 2019/10/20

Stn.AN11, location: 41°14.946' N, 138°09.034'E, depth range: 0-1000m, 16 layers, date: 2019/10/20

Stn.AN14-2, location: 39°19.217' N, 137°00.001'E, depth range: 0-2393m, 7 layers, date: 2019/10/21

Stn.AN14-3, location: 39°19.209' N, 137°00.018'E, depth range: 0-800m, 15 layers, date: 2019/10/21

Management office: Tokai University
Manager: Daisuke D. Komatsu

5-15. Nitrification and denitrification rates (water column)

Stn.AN7R, location: 41°59.981' N, 138°03.089'E, depth range: 0-3633m, 5 layers, date: 2019/10/20

Stn.AN11, location: 41°14.946' N, 138°09.034'E, depth range: 0-1000m, 4 layers, date: 2019/10/20

Stn.AN14-2, location: 39°19.217' N, 137°00.001'E, depth range: 0-2393m, 2 layers, date: 2019/10/21

Stn.AN14-3, location: 39°19.209' N, 137°00.018'E, depth range: 0-800m, 3 layers, date: 2019/10/21

Management office: Tokai University
Manager: Daisuke D. Komatsu

5-16. Concentrations of DMS and DMSP (water column)

Stn.AN7R, location: 41°59.981' N, 138°03.089'E, depth range: 0-300m, 11 layers, date: 2019/10/20

Stn.AN11, location: 41°14.946' N, 138°09.034'E, depth range: 0-300m, 11 layers, date: 2019/10/20

Stn.AN13, location: 40°12.158' N, 137°26.096'E, depth range: 0-300m, 11 layers, date: 2019/10/21

Stn.AN14-3, location: 39°19.209' N, 137°00.018'E, depth range: 0-300m, 11 layers, date: 2019/10/21

Stn.AN16, location: 38°10.2784' N, 135°32.905'E, depth range: 0-300m, 11 layers, date: 2019/10/22

Management office: Hokkaido University

Manager: Sohiko Kameyama

5-17. Concentrations of isoprene (water column)

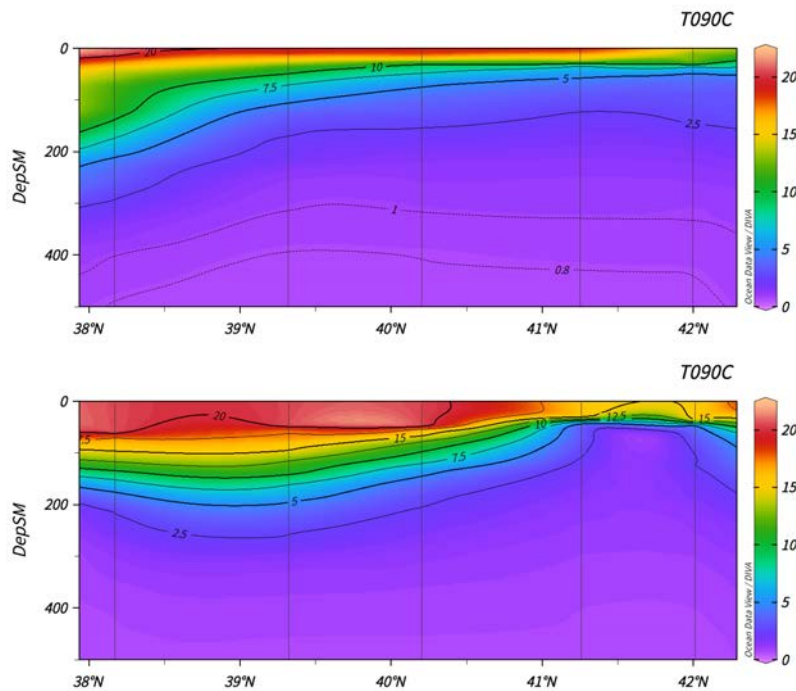
Stn.AN7R, location: 41°59.981' N, 138°03.089'E, depth range: 0-300m, 11 layers, date: 2019/10/20

Management office: Hokkaido University

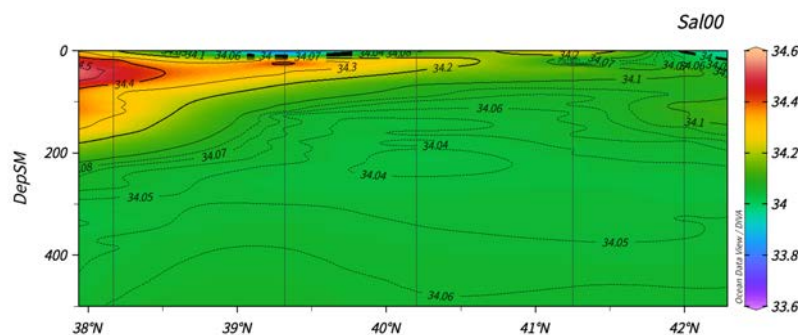
Manager: Sohiko Kameyama

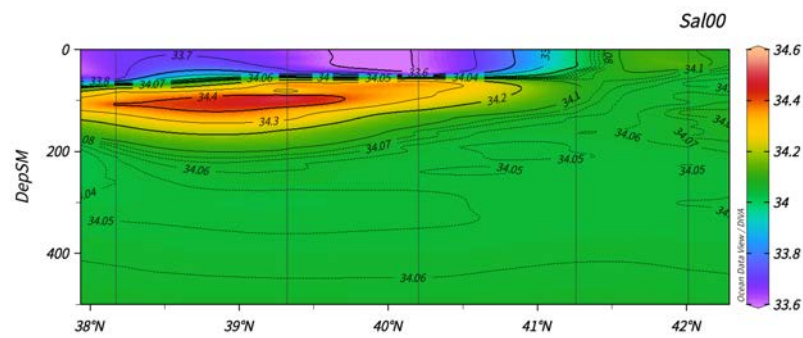
6. Preliminary results

6-1. Temperature (0-500 m) during KS-19-11 (upper) and KS-19-21 (lower)

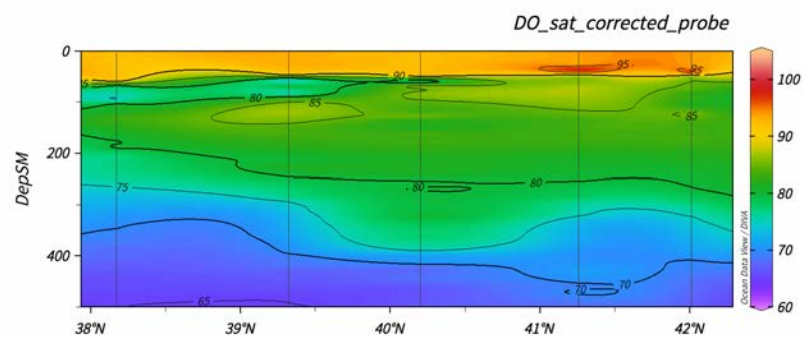
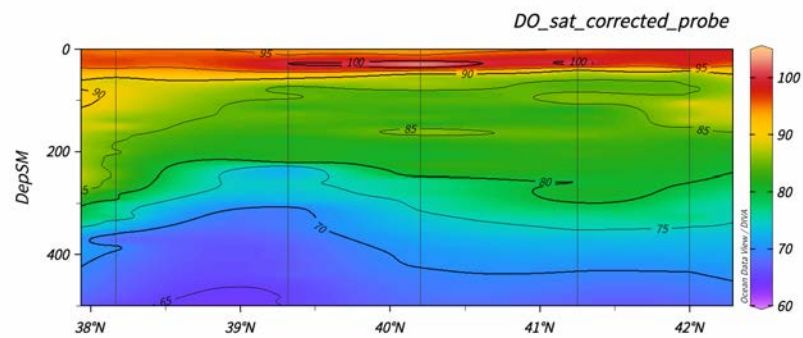


6-2. Salinity (0-500 m) during KS-19-11 (upper) and KS-19-21 (lower)

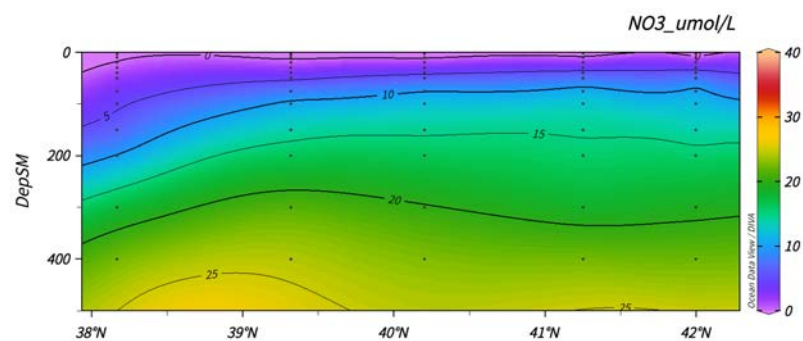


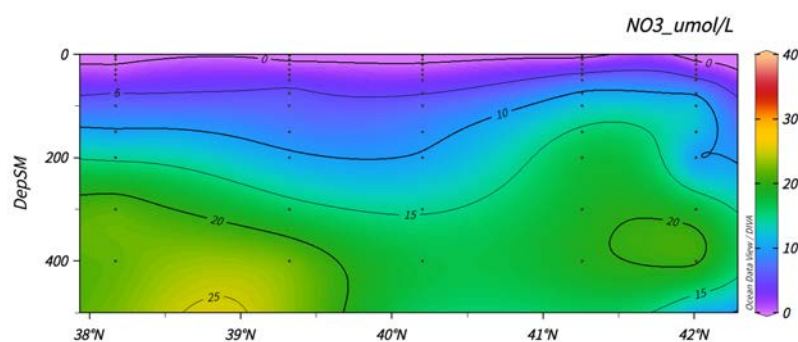


6-3. DO (0-500 m, in saturation %) during KS-19-11 (upper) and KS-19-21 (lower)

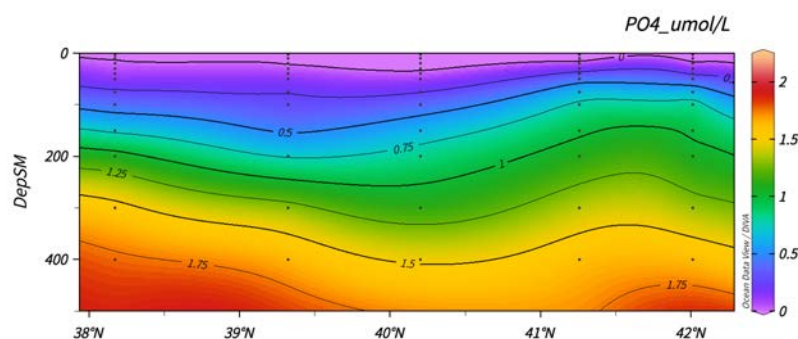
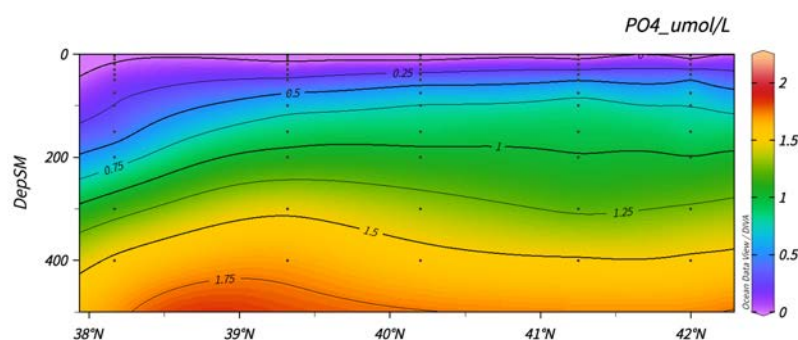


6-4. Nitrate concentration (0-500 m) during KS-19-11 (upper) and KS-19-21 (lower)





6-5. Phosphate concentration (0-500 m) during KS-19-11 (upper) and KS-19-21 (lower)



7. Notice on Using

Unauthorized copying and citation of the contents of this report, text and images are strictly prohibited.
当報告書のテキストおよび画像の無断転載・複製・引用を固く禁じます。

This cruise report is a preliminary documentation as of the end of cruise.
This report is not necessarily corrected even if there is any inaccurate description (i.e. taxonomic classifications). This report is subject to be revised without notice. Some data on this report may be raw or unprocessed. If you are going to use or refer the data on this report, it is recommended to ask the Chief Scientist for latest status.
Users of information on this report are requested to submit Publication Report to Cooperative Research System Office.

E-mail: kyodoriyo@aori.u-tokyo.ac.jp