

# 富山湾から揚水した滑川及び入善海洋深層水中の 硝酸塩濃度の時間変動の比較

Comparison of temporal changes on nitrate concentrations  
in deep seawater pumped up at 321 m and 384 m depth  
in Toyama Bay, Japan Sea

松永 明信<sup>1</sup>・中山 恵理子<sup>1</sup>・大津 順<sup>2</sup>・南條 暢聡<sup>2</sup>・辻本 良<sup>2</sup>

Akinobu MATSUNAGA, Eriko NAKAYAMA, Jun OHTSU,  
Nobuaki NANJO and Ryo TSUJIMOTO

## Abstract

The continuous analysis of the nitrate concentration will make clear causes of the changes of nutritive salts in deep seawater. Nitrate concentrations in deep seawater pumped up in Toyama Bay were analyzed over the period of two years from January 2003 to December 2004, at hourly intervals by using ion chromatography. Deep seawater were pumped up at two different locations, at Namerikawa City (NaC) and Nyuzen Town (NyT), from the depth of 321 m and 384 m, respectively. The concentrations were usually 23 to 24  $\mu\text{mol L}^{-1}$  at NaC and 24 to 25  $\mu\text{mol L}^{-1}$  at NyT. However, some changes often occurred and continued for several hours to several days. Their changing ranges were greater at NaC (8.8 to 25.0  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) than at NyT (17.6 to 25.4  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ). The decrease of nitrate concentration was related to the temperature rise. The changes usually occurred first at NaC and then at NyT, several hours later. The distribution of nitrate concentrations and temperatures from surface to 700 m depth were analyzed. Those data suggested that a seawater mass with a lower nitrate concentration and a higher temperature often might be moving in the bay, going down for 150 m, reached to the inlet of intake pipe of deep seawater. The reason that the range of nitrate concentration change at NyT is smaller than the one at NaC, could be due to the fact that the inlet of intake pipe at the former is deeper by about 60 m than the one at the later.

**Key Words:** deep seawater, nitrate, temperature, Toyama Bay, seawater mass movement

## 要 旨

海洋深層水の栄養塩類濃度の変動の要因を解明するために、その硝酸塩濃度の連続測定を実施した。富山県滑川市及び入善町の施設へ揚水されている海洋深層水について、2003年1月から2004年12月まで、硝酸塩濃度を1時間毎に計測した。滑川海洋深層水の硝酸塩濃度は通常は23~24  $\mu\text{M}$  で推移し、時々8.8~25.0  $\mu\text{M}$  の濃度変動が観察された。一方、入善海洋深層水の硝酸塩濃度は24~25  $\mu\text{M}$  で推移し、17.6~25.4  $\mu\text{M}$  の濃度変動がみられた。前回の滑川での調査で既に報告した現象であるが、濃度変動は時間単位でみられ、数時間から数日に及ぶこと、硝酸塩の濃度減少と水温の上昇が対応することは入善での調査でも確認された。滑川と入善における硝酸塩濃度の変動を比較すると、入善での硝酸塩濃度が僅かに高いが、濃度変動の幅は明らかに小さいこと、入善での濃度減少は数時間遅れで発生する頻度が高いことが判明した。これらの現象は、富山湾における硝酸塩濃度と水温の深度分布の測定結果から、硝酸塩濃度が低く水温の高い水塊が両深層水

<sup>1</sup>富山県衛生研究所 (〒939-0363 富山県射水郡小杉町中太閤山 17-1)

<sup>2</sup>富山県水産試験場 (〒939-8536 富山県滑川市高塚 364)

取水口付近へ移動・降下すること、その降下距離は150 mに及ぶこと、入善での硝酸塩の濃度変動が小さいのは取水口深度が深いことに起因することが推定された。

**キーワード：**海洋深層水、硝酸塩、水温、富山湾、水塊移動

## 1. 諸 言

海洋深層水は「光合成による有機的生産がおこなわれず、分解が卓越し、冬季の鉛直混合の到達深度以深の海水」と暫定的に定義されており、一般的には200～300 m程度以深の海水と考えられている。海洋深層水は同一海域の表層水に比較して、水温が低く、栄養塩類（硝酸塩、リン酸塩、ケイ酸塩）の含有量が多く、有害有機化合物及び細菌類が少なく清浄であり、水質の季節的変動が小さく安定していること等の特性を有すると言われている（中島・豊田, 1994）。しかしながら、特定深度の深層水中の栄養塩類濃度を一定期間毎に継続測定した調査から、栄養塩類濃度が予想外に変動することが示唆されている（豊田ら, 1998；深見ら, 2000；稲葉ら, 2001；木下ら, 2002）。1日1回の測定頻度の調査では栄養塩類の濃度変化と水温の関係は明らかにならず、硝酸塩濃度が減少しても塩分（psu）は一定であり、硝酸塩濃度変化の要因については解明されていない（Watanabe *et al.*, 2000）。

海洋深層水の栄養塩類濃度の時間変動の詳細を把握し、その変動要因を解明するためには、短時間毎の栄養塩類等の連続測定が必要と考えられる。そこで、著者らは海洋深層水中の硝酸塩濃度を1時間毎に連続自動分析する専用イオンクロマトグラフ（IC）装置を開発した（松永ら, 2001）。滑川市の富山県水産試験場に揚水されている深層水について、2001年9月から硝酸塩濃度を1時間毎に計測した。これまでに、揚水されている深層水中の硝酸塩濃度は時々急激に減少すること、濃度減少と水温の上昇が見事に対応することを既に報告した（松永ら, 2003；以後は前報と略す）。

滑川の揚水施設から約20 km離れた富山県入善町の入善海洋深層水活用施設での揚水が平成13年12月に開始された。入善海洋深層水についても硝

酸塩濃度を1時間毎に計測した。入善町及び滑川市で揚水されている深層水の濃度変動、並びに富山湾の洋上で採水した海水の水温、硝酸塩濃度の深度別計測調査について、これらを合わせて解析したものを報告する。

## 2. 方 法

### 揚水施設等の概要及び測定対象深層水

A. 滑川海洋深層水；施設の概要等は前報に詳述した。

B. 入善海洋深層水；黒部川の河口から東へ約1 km離れて入善海洋深層水活用施設がある。施設の沖合い3.3 kmの水深384 m（図1参照）から口径250 mmの鎧装硬質ポリエチレン管を經由してポンプで海洋深層水が揚水され、日量2,000 m<sup>3</sup>で20 m<sup>3</sup>の受水槽へ送られている。そこから深層水は漁港の蓄養施設、養殖施設及び活用施設へ配水されている。受水槽中の深層水を水温測定対象とした。また、活用施設の実験室に設置された受水タンク（容量50 L）へ10 L/分で送られた深層水の硝酸塩を1時間毎に測定した。

### 揚水した深層水の水温と硝酸塩濃度の測定

深層水の水温は受水槽中にアレック電子機製のCOMPACT-CTセンサーを設置して計測した。硝酸塩濃度は海水ろ過装置でろ過したものについて専用IC装置を用いて、前報に詳述した方法で測定した。

### 海水の洋上採水方法等

表層から深層にかけての海洋観測は、図1に示したSt.40（北緯36度48.10分、東経137度19.41分；深度400 m）、St.N4（北緯36度51.29分、東経137度16.73分；深度800 m）及びSt.08（北緯36度59.76分、東経137度13.74分；深度1,000 m）で行った。富山県水産試験場所属の調査船「立山丸」により、表層から深度700 mの範囲

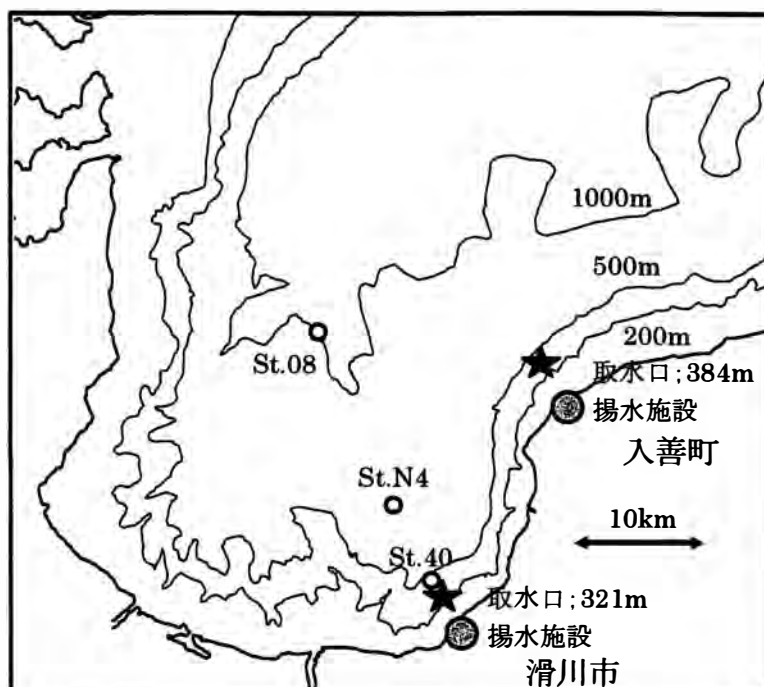


図1. 富山湾海底図.

を対象として、Sea Bird社製のCTD (SBE9 plus)により水温を1 m毎に計測するとともに、CTD付属採水器 (SBE32型、容量2 L)を用いて50 m毎に採水を行った。採水した海水はポアサイズ0.45  $\mu\text{m}$ のフィルターでろ過した後、連続分析とは別のIC装置を用いて採水当日に硝酸塩濃度を測定した。

### 3. 結果と考察

#### 入善海洋深層水中の硝酸塩濃度と水温の関係

滑川の装置とは別に作成した専用IC装置を用いて、揚水されている入善海洋深層水中の硝酸塩濃度を測定した。2003年1月から2004年12月までの硝酸塩濃度及び水温の時間変動を図2に示した。硝酸塩濃度は24～25  $\mu\text{mol L}^{-1}$ 程度で推移しているが、時々10～30%程度の減少がみられた。2003年と2004年の冬期(12月～4月)には頻繁に硝酸塩の濃度変動が生じた。一方、2003年夏期(5月～11月)における硝酸塩濃度は比較的安定していたが、2004年夏期にはその濃度が17.6  $\mu\text{mol L}^{-1}$ まで大きく減少した。

入善の揚水施設では取水口の海水が受水槽に達す

るまでに約2時間を要する。揚水中に海水の水温は若干上昇すると想定されるが、受水槽での水温は取水口での水温を反映すると考えられる。なお、2004年6月4日から取水量が2割程度減少しており、それ以降は0.5  $^{\circ}\text{C}$ 程度の水温上昇がみられた。硝酸塩濃度の減少に対応して水温の上昇がみられることが図2から明らかになった。2003年1月下旬、2004年7月中旬及び9月上旬には硝酸塩濃度の急激な減少に対応して水温は、それぞれ4.4  $^{\circ}\text{C}$ 、7.4  $^{\circ}\text{C}$ 及び5.8  $^{\circ}\text{C}$ 程度まで急激に上昇した。なお、2003年1月28日からの1週間を拡大して図3に示した。硝酸塩濃度と水温は時間単位で対応して変化していることが明瞭である。滑川海洋深層水の硝酸塩濃度と水温が時間単位で連動することは前報で示した。入善及び滑川ともに取水口付近において水質の異なる水塊が時間単位で移動することが示唆された。

#### 滑川及び入善海洋深層水の硝酸塩濃度変化の比較

2003年1月から2004年12月までの滑川及び入善海洋深層水中の硝酸塩濃度の時間変動を図4に示した。硝酸塩濃度は滑川では23-24  $\mu\text{mol L}^{-1}$ 、入善では24-25  $\mu\text{mol L}^{-1}$ 程度で推移している。通

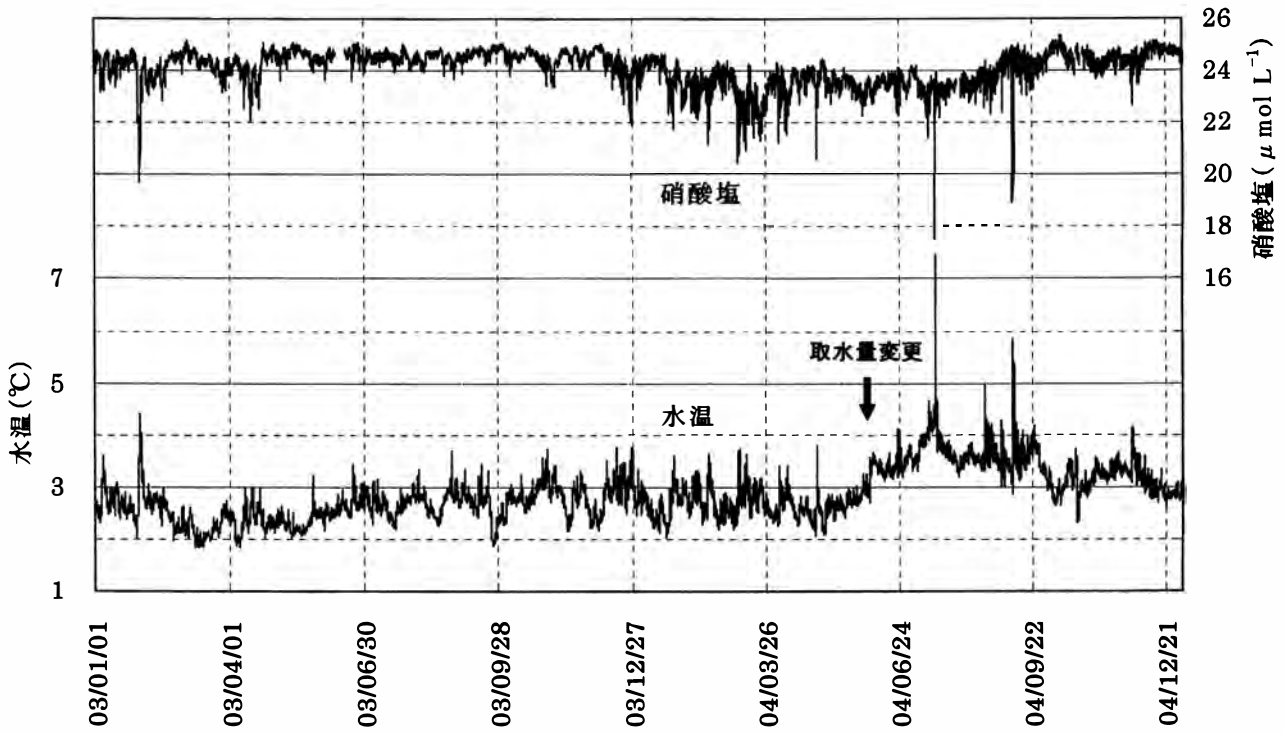


図2. 入善海洋深層水中の硝酸塩濃度と水温の時間変動.

2003年1月1日から2004年12月31日まで、深度384mから入善海洋深層水活用施設に揚水された海洋深層水について、実験室に配水されたものの硝酸塩を1時間毎、受水槽中での水温を10分毎に測定した。

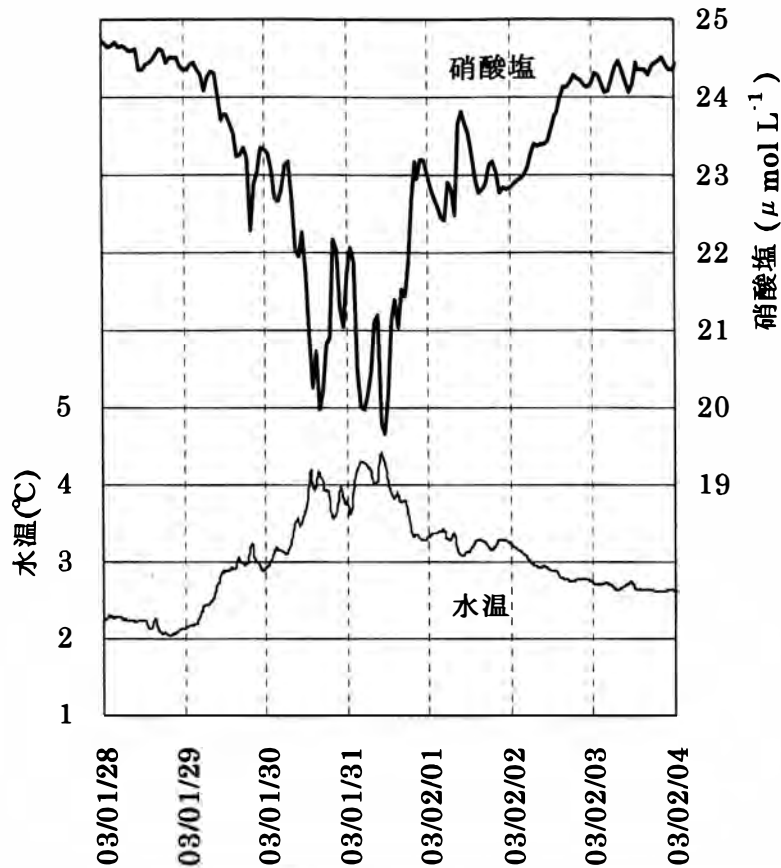


図3. 入善海洋深層水中の硝酸塩濃度と水温の時間変動 [図2に示した2003年1月28日から2月3日までの拡大図].

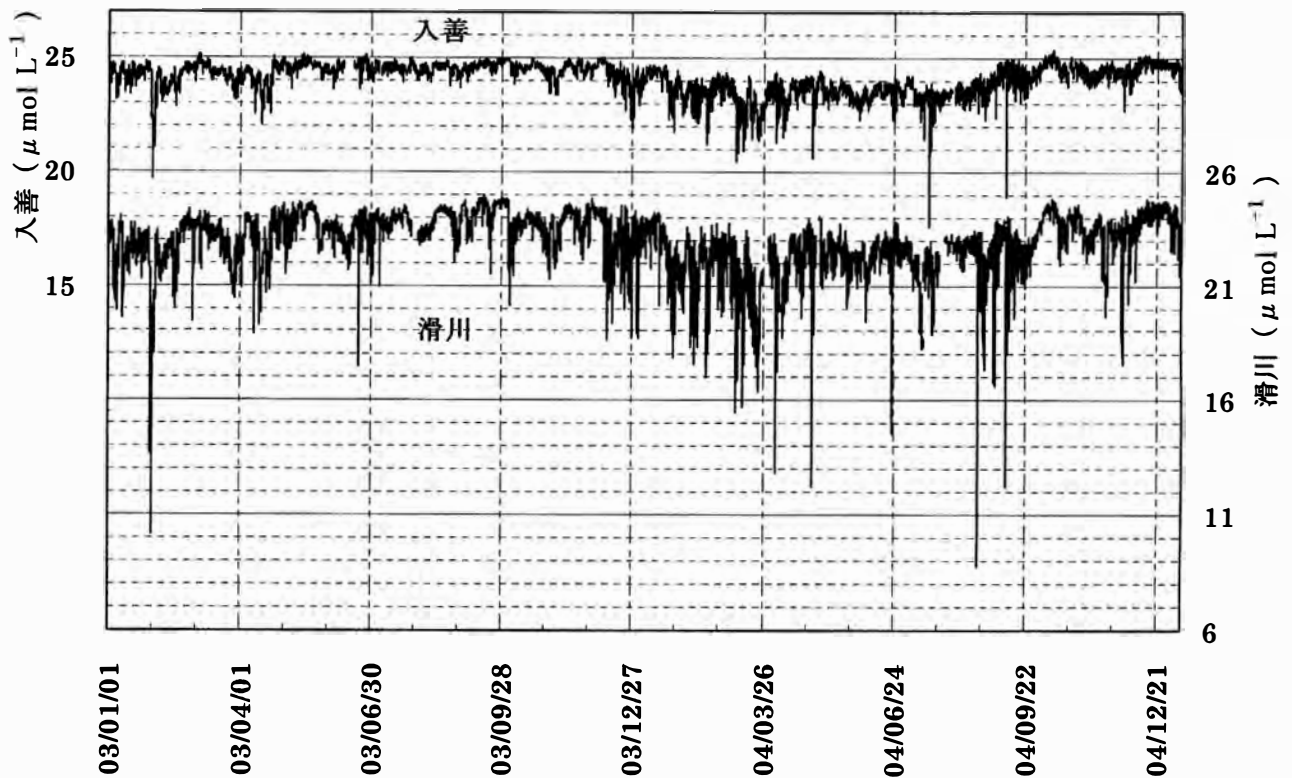


図4. 入善及び滑川海洋深層水の硝酸塩濃度の時間変動の比較。

2003年1月1日から2004年12月31日まで、深度384mから入善海洋深層水活用施設及び深度321mから水産試験場（滑川）に揚水された海洋深層水について、硝酸塩を1時間毎に測定した。

常は両者の濃度変動は連動して起きるが、滑川の濃度が常に僅かに低く、滑川の濃度変動量（極小値とその近傍の安定した値の差）も数倍大きかった。この理由は、入善の取水水深が384mであるのに対して、滑川のそれが321mと約60m浅いことに起因することは、後述する硝酸塩濃度の深度分布を示す曲線の変化（図7参照）からも明らかである。滑川における硝酸塩濃度の減少と水温上昇の関係は、図示しないが、前報で記載したように、2003年1月からの2年間について見事に対応した。滑川で硝酸塩濃度が減少した2003年6月21日、2004年6月23日、8月20日、9月1日及び9月9日は、それぞれ台風6号（2003年）、6号、15号、16号及び18号が能登半島沖を通過した1～2日後である。そのため、この濃度減少の原因は台風の影響と推定される。特に、8月20日に硝酸塩濃度は $8.8 \mu\text{mol L}^{-1}$ まで著しく減少し、水温は $10.2^\circ\text{C}$ まで上昇した。しかしながら、この日の入善での硝酸塩濃度の減少は極めて小さく、極小値が $22.6 \mu\text{mol L}^{-1}$ であった。一方、9月9日には滑川及び

入善の硝酸塩濃度は $12.2 \mu\text{mol L}^{-1}$ 及び $18.9 \mu\text{mol L}^{-1}$ まで減少した。滑川と入善での硝酸塩濃度の減少の割合（ $\Delta$ 入善/ $\Delta$ 滑川）は、台風15号では約1/8であり、台風18号では約1/2であった。これらに対し、台風23号は日本列島を縦断し、2004年10月20日夜半に富山県に最接近した。日本海を通過した台風の場合とは逆に北東の強風で富山湾海上及び陸上で大きな被害が発生した。台風の通過後に滑川及び入善では硝酸塩濃度に変化はみられなかったが、両者の水温は約 $1^\circ\text{C}$ の低下がみられ、他の台風とは逆の水温変化が観察された。硝酸塩濃度減少（変化）及び水温変化を引き起こす要因、例えば内部波、沿岸湧昇、急潮に伴う影響等の発生する海域又は深度域が台風毎に微妙に異なるものと推定される。

2004年7月18日には滑川の硝酸塩濃度及び水温に変化はみられなかったが、入善では濃度が著しく減少し、水温が上昇した。数日前から黒部川の上流の山岳地帯に豪雨があり、黒部川から大量の濁水が海域に流入したことがその要因の一つである可能

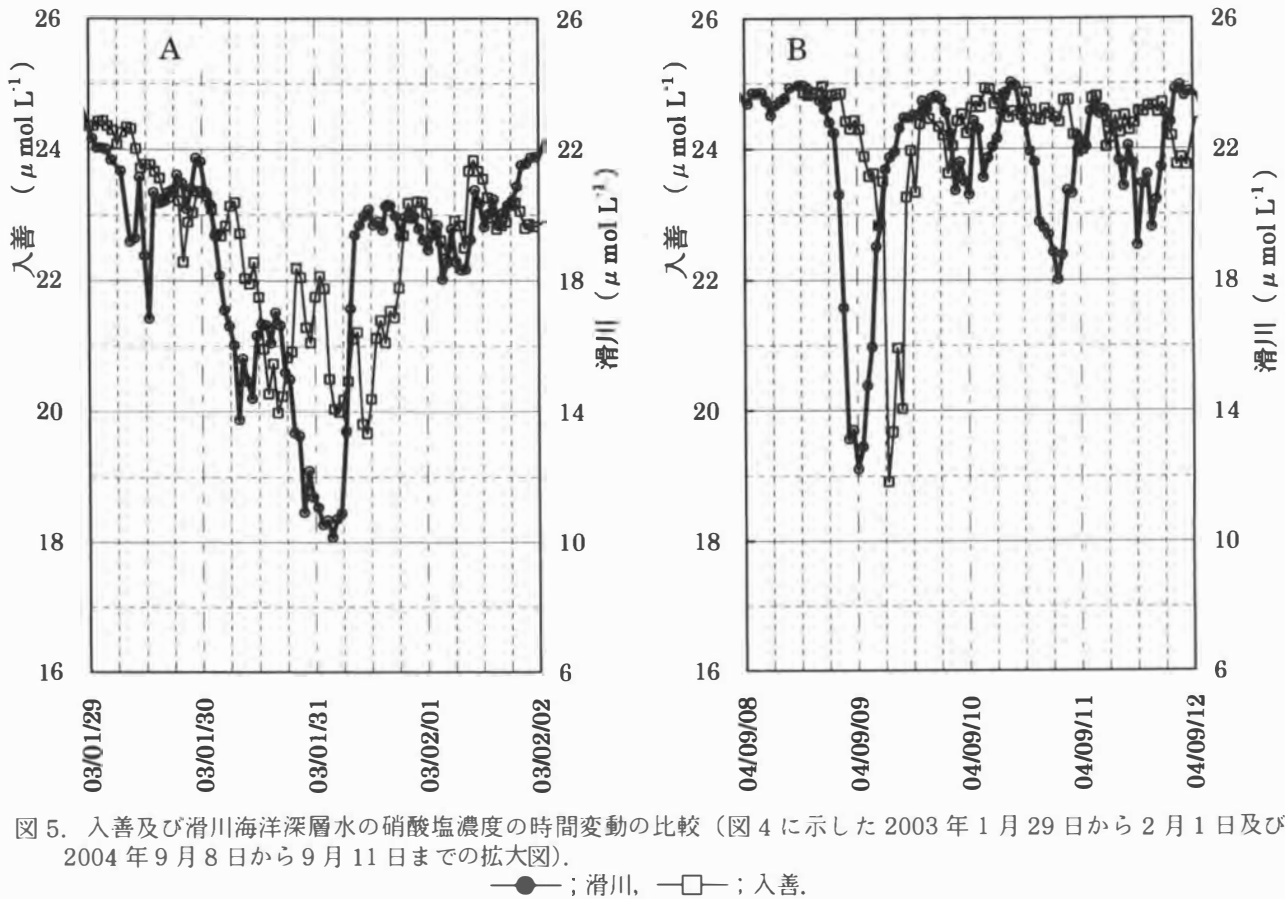


図5. 入善及び滑川海洋深層水の硝酸塩濃度の時間変動の比較 (図4に示した2003年1月29日から2月1日及び2004年9月8日から9月11日までの拡大図).

●—; 滑川, □—; 入善.

性は否定できない. なお, 降雨に基づく河川水量の増大により, 河口に近い静岡県の取水施設から揚水された深層水の懸濁粒子等の水質が変化することを進藤ら (2003) が報告している.

両深層水の硝酸塩濃度の減少が発生する時刻を詳細に検討するために, 両者の濃度が共に著しく減少した時期である2003年1月29日及び2004年9月8日から4日間の硝酸塩の濃度変化を図5A及び5Bに示した. 冬期の濃度変動は数日間継続するが, 夏期の台風等の影響による濃度変動は半日で収束する傾向がみられる. また, 滑川に比較して入善の変化は数時間後に発生した. なお, 揚水にかかる時間は滑川では約1時間, 入善では約2時間であり, その差は1時間である. 濃度変化の発生する時間差に較べて, 揚水の時間差は小さいので, 揚水の時間補正は省略した.

石川県能登半島東沿岸, 富山湾奥域では台風または発達した低気圧に起因する急潮により定置網漁業が被害を受けることがあり, 各機関が精力的に調査

を行っている. 2004年9月に能登半島沖を通過した台風18号の影響については詳細な調査が行われた. 能登半島先端部では南西風がピークに達した直後に水温の成層状態が消滅して水温が一様化する水温変動が観察された. 続いて半島東岸に強い南下流が発生し, 富山湾奥へと反時計回りに伝播した. 流速成分の鉛直断面には扁平な同心円状の流速分布が認められ, 最大成分流速は176 cm/秒に達した. 成分流速が50 cm/秒以上の領域は最大幅8.1 km, 深さ120 mに達していた (大慶ら, 2005). また, 台風18号通過後には, 約10日間にわたって流速, 水温及び潮位に約20時間の慣性周期の変動が観察されており, 同様な周期変動は台風15号及び16号通過後も観察されたと報告されている (大慶ら, 2005; 林・井野, 2005).

2004年8月19日から1ヶ月間の滑川深層水の硝酸塩濃度及び水温の変動を図6に示した. 台風18号に起因する20時間周期の明瞭な硝酸塩濃度の減少及び水温上昇が9月9日から10回程度観察

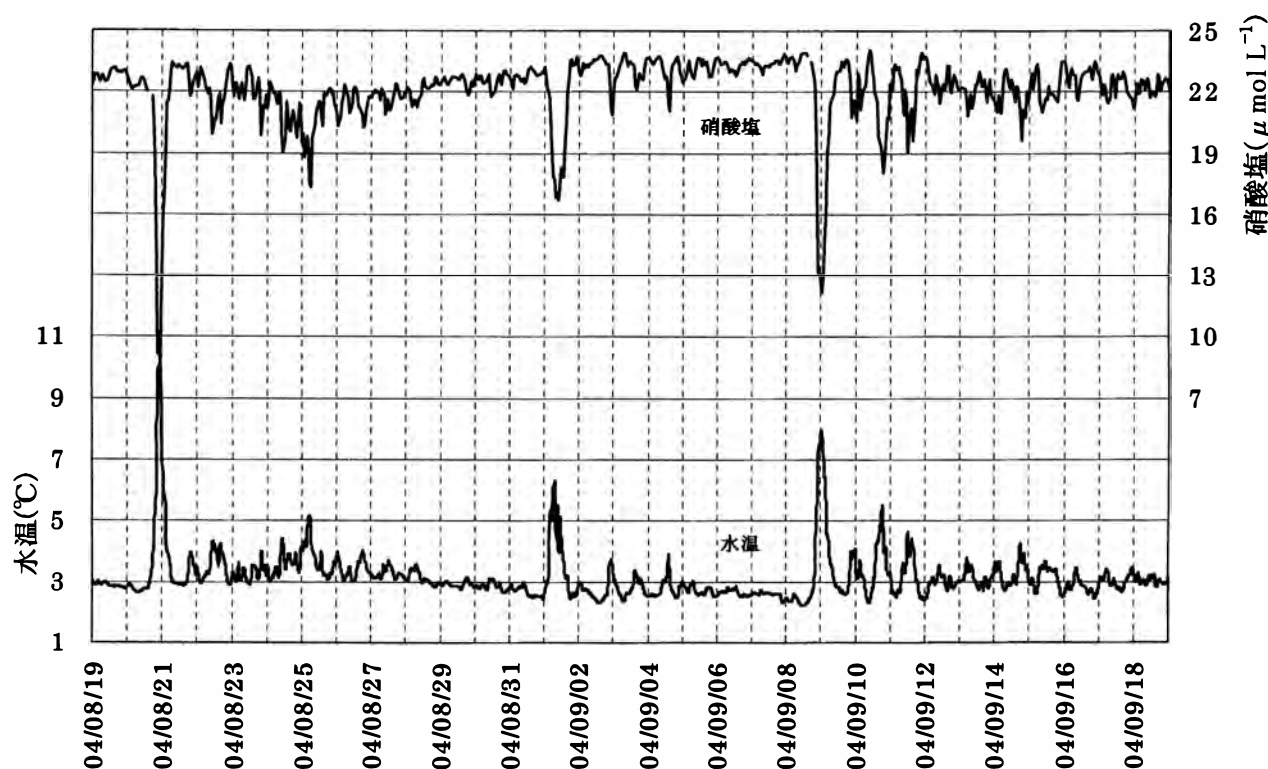


図 6. 滑川海洋深層水中の硝酸塩濃度と水温の時間変動。

2004年8月19日から9月18日まで、深度321mから富山県水産試験場に揚水された海洋深層水について、硝酸塩を1時間毎、受水槽中での水温を10分毎に測定した。

された。台風15号及び16号でも同様な変化がみられた。なお、入善深層水についても同様な変化がみられたが、滑川における変化ほど明瞭ではなかった。大慶ら(2005)の報告およびこれらの結果から、揚水されている滑川及び入善深層水の硝酸塩濃度変化に時間差が生ずる原因については、①硝酸塩濃度変動を誘発する因子、例えば急潮等に誘引された内部波が富山湾内を反時計回りで伝播すること、②滑川に比べて入善の取水口が深いために、取水口付近に影響が現れるまでに時間を要することが想定される。従って、能登半島沖の台風や低気圧による強い南西風による気象擾乱の後に発生する急潮が富山湾に伝播し、急潮及びそれに付随する内部波等の影響により、硝酸塩濃度が低く、水温の高い水塊(対馬暖流)が水深300~400m域へ降下することが示唆された。

#### 富山湾における水温と硝酸塩濃度の深度分布

硝酸塩濃度の変動を誘発する因子等を解明するために、富山湾で海水を深度別に採取して、硝酸塩濃度及び水温を計測した。採水日は、2003年12月9

日(第1回、St.N4のみ採水)、2004年3月16日(第2回、これ以降は3観測点採水)、5月27日(第3回)及び11月9日(第4回)であった。第1回の採水日は、滑川の取水口から揚水した深層水の硝酸塩濃度が19~24  $\mu\text{mol L}^{-1}$ の範囲で激しく日内変動を示したが、入善では24.0~24.5  $\mu\text{mol L}^{-1}$ と安定していた。第2~4回の採水日は、滑川及び入善での日内変動が共に小さな日であった。3観測点(St.40, St.N4及びSt.08)の深度別測定結果をみると、第2回の調査では300m、第3回では250m、第4回では150m以深において、硝酸塩濃度及び水温の分布状況は概ね一致した。

滑川沖のSt.N4観測点における4回の調査の硝酸塩濃度及び水温の深度分布を図7に示した。深度の増大に伴って硝酸塩濃度は増加し、200~300m域で急増し、いずれの時期も24~25  $\mu\text{mol L}^{-1}$ で一定値に達している。第1回目~4回目の硝酸塩濃度が一定値に達する深度は、それぞれ600m、500m、450m及び400mであった。表層では水温は気温の影響を受けているが、いずれの時期も

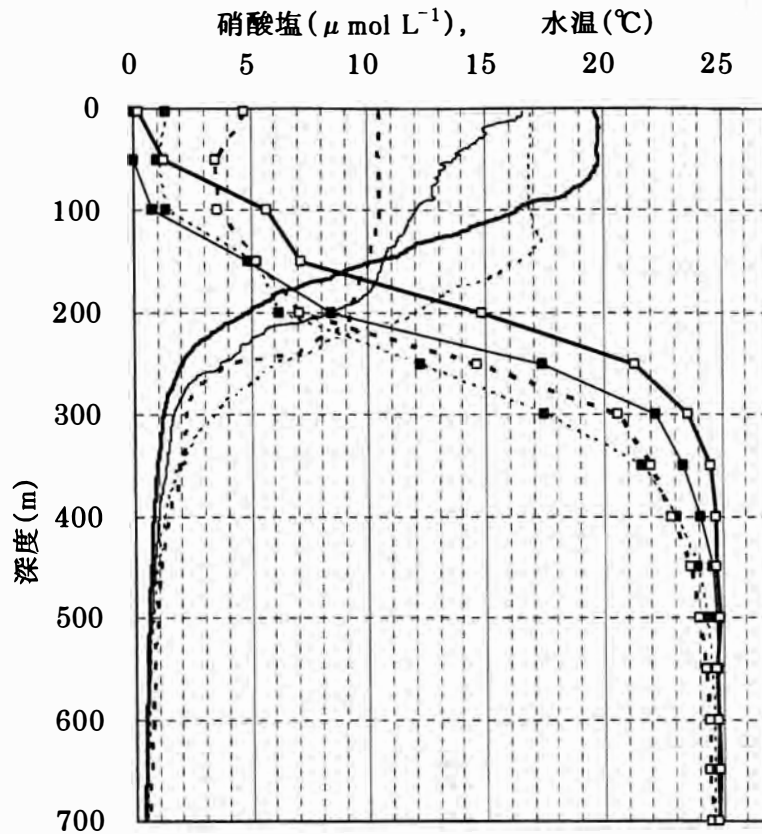


図7. 観測点 St. N4 における海水の水温と硝酸塩濃度の深度分布.

---■---; 2003年12月9日の硝酸塩, ----; 水温  
 .....□.....; 2004年3月16日の硝酸塩, .....; 水温  
 —■—; 2004年5月27日の硝酸塩, ———; 水温  
 —□—; 2004年11月9日の硝酸塩, ———; 水温

200 m 以深では、深度の増加に対応して水温は減少した。滑川及び入善の取水口深度である 321 m 及び 384 m における硝酸塩濃度を図 7 から推定し、同時期に滑川及び入善で揚水されたものの実測値と比較したところ、第 2～4 回目の調査では概ね一致した。硝酸塩濃度及び水温の変動幅については、第 1 回目と 4 回目の硝酸塩の濃度差は、深度 321 m では  $5 \mu\text{mol L}^{-1}$ 、深度 384 m では  $2 \mu\text{mol L}^{-1}$  であった。また水温差は深度 321 m で  $1.5^\circ\text{C}$  であり、深度 384 m では  $0.8^\circ\text{C}$  であった。揚水された両深層水の硝酸塩の濃度変動及び水温変動の幅が異なるのは、深層水取水口の深度差 (60 m) を反映していると推定できる。

2003 年 1 月 31 日には滑川及び入善で揚水されている深層水の硝酸塩濃度は  $10.1 \mu\text{mol L}^{-1}$  及び  $19.7 \mu\text{mol L}^{-1}$  まで減少した。この時期における安定期の硝酸塩濃度の深度分布が第 4 回目調査のパ

ターンと類似すると仮定すれば、滑川では深度約 170 m の海水が 321 m まで 150 m 降下したことになり、入善では深度約 230 m の海水が 384 m まで 150 m 降下したことになり、両地点での降下距離は一致する。2004 年 8 月 20 日は滑川及び入善の硝酸塩濃度は  $8.8 \mu\text{mol L}^{-1}$  及び  $22.6 \mu\text{mol L}^{-1}$  であり、時期が異なるが第 4 回目調査のパターンを利用すれば、降下距離は 160 m 及び 110 m となり、50 m の差が算出された。9 月 9 日は滑川及び入善の硝酸塩濃度は  $12.2 \mu\text{mol L}^{-1}$  及び  $18.9 \mu\text{mol L}^{-1}$  であり、降下距離は 140 m 及び 160 m となり、逆に 20 m の差が算出された。このように、滑川と入善における水塊の降下距離は必ずしも一致するものではないと推定される。台風 18 号により能登半島東岸では急潮の深さは 120 m に達し、その海域における水温の上昇は水深約 250 m に達していることが確認されている (大慶ら, 2005)。海底地形の



変化により急潮の特性は変化すると言われている。富山湾では急潮の深さが150 m程度に達することにより、滑川及び入善では表面の水塊が150 m程度降下したと推定される。

硝酸塩濃度の深度分布パターンは、150～250 m域での変化割合（深度依存性）は大きく、それ以降は深度の増加に伴って小さくなる。従って深度依存性の大きい深度域の海水が取水口付近（300 m以深）まで降下した場合には、硝酸塩濃度は大きく変化することになる。例えば海水が150 m降下した場合には、深度300 mでは硝酸塩濃度は $24 \mu\text{mol L}^{-1}$ から $7 \mu\text{mol L}^{-1}$ に減少し、400 mでは $25 \mu\text{mol L}^{-1}$ から $21 \mu\text{mol L}^{-1}$ に減少する。500 m以深ではほとんど変化しないことになる。富山湾では何らかの原因で、時々浅いところの硝酸塩濃度が低く、水温の高い水塊が降下するものと考えられる。一方、深いところの水塊が取水口付近まで上昇しても、濃度の増加は極めて少なく、水温の低下は小さいと思われる。2004年10月22日に入善及び滑川で揚水深層水の水温が $1^\circ\text{C}$ 低下したことは前述したが、この時には水塊の上昇する現象が起きた可能性が推定される。

#### 4. まとめ

本調査で次のことが明らかになった。滑川及び入善で揚水されている海洋深層水の硝酸塩濃度は時々互いに連動して減少すること。冬期の硝酸塩濃度の減少は数日継続するが、夏期の台風の影響によるものは半日で収束すること。入善に比較して滑川の濃度変化は数倍大きいこと。入善での濃度変化は滑川の変化から数時間遅れて発生する頻度が高いこと。濃度減少は水温の上昇に対応すること。揚水された硝酸塩濃度の減少期には、富山湾の300 m以深の海水は、安定期に比べて硝酸塩濃度が減少して水温が上昇すること、深くなるにともなってその変化が小さくなり、500 m以深では変化がみられないこと。滑川及び入善深層水取水口付近では、性質の異なる水塊が時々移動しているものと推定された。硝酸塩濃度の低下と水温の上昇を示すことから、浅い

深度の水塊が降下して取水口に達している可能性が考えられる。内部波による水塊の上下振動、あるいは移流による異なる水塊の到達等が推定される。滑川海洋深層水の取水口は、水温躍層の下限近く（下限より上部）に位置するために、浅い方の水塊が降下してくると水温と栄養塩類は大きく変動する。一方、深い方の水塊が上昇してきても、水温と栄養塩類の変動は小さい。したがって、揚水される深層水の水質の変動を小さくするためには、取水口を水温躍層の下限から十分に深いところに設置する必要があることが解明された。入善の施設の取水口も水温躍層の下限に近いが、滑川より深度が深いので、水質の変動が小さいことが判明した。

滑川及び入善の取水口付近の深度で海水の流向・流速及び水温の計測調査を長期間にわたって実施し、それらの計測結果及び富山湾海洋気象等とを合わせて解析をすすめれば、内部波の伝播経路等が明らかになるものと考えられる。

#### 文 献

- 深見公雄・松本 純・門田 司・中野雄也・西島敏隆（2000）海洋深層水の水質変動と微細藻類に対する増殖ポテンシャルの関係。海深研，1，27-31。
- 稲葉栄生・勝間田高明・安田訓啓（2001）駿河湾300 m層の流動と水温の変動。海深研，2，1-8。
- 木下淳司・近磯 晴・宮原 司（2002）小田原沖海洋深層水の栄養塩類特性について。海深研，3，7-13。
- 林 清志・井野伸吾（2005）富山湾奥における急潮等による漁業被害。水産海洋地域研究集会「日本海の急潮—予測技術の開発と被害の低減に向けて—」講演要旨集，pp. 3-5。
- 松永明信・小善圭一・黒川弘子・山本 敦・大浦 徹（2001）イオンクロマトグラフィーによる海洋深層水中の硝酸塩の連続自動分析。富山衛研年報，24，132-137。
- 松永明信・黒川弘子・小善圭一・高柳信孝・大戸幹也・豊田孝義・中島敏光（2003）深度321 mから揚水した富山湾滑川海洋深層水中の硝酸塩濃度の時間変動。海深研，4，67-72。
- 中島利光・豊田孝義（1994）海洋深層水の資源的価値とその利用。月刊海洋，26，133-138。
- 大慶則之・奥野充一・千手智晴（2005）能登半島で観察された急潮の特性。水産海洋地域研究集会「日本海の急潮—予測技術の開発と被害の低減に向けて—」講演要旨集，pp. 8-9。

進藤 秀・榎 正憲・内村真之・富松亮介・豊田孝義・  
中島敏光 (2003) 静岡県の海洋深層水取水施設で汲  
み上げた海水中の懸濁粒子について. 海洋深層水利  
用研究会焼津大会講演要旨集, p. 10.  
豊田孝義・中島利光・黒山順二 (1998) KAUL の汲み  
上げ深層水中の栄養塩類. 海洋深層水利用研究会高

知大会講演要旨集, pp. 24-25.

Watanabe, M., J. Ohtsu and A. Otsuki (2000) Daily  
variations in nutrient concentrations of seawater  
at 321 m depth in Toyama Bay, Japan Sea, J.  
Oceanogr., 56, 553-558.

(2005. 1. 2 受付, 2005. 4. 14 受理)