

# 海洋構造変動パターン解析技術開発試験事業 パヤオ漁場調査

鹿熊信一郎

## 1. 目的

海洋構造変動パターン解析技術開発試験事業は、平成8年度に終了した漁況海況サービス事業を引継ぐものである。調査船によるADCP（ドップラー流速計）観測技術の開発、耐久性浮魚礁に設置した係留系流速・水温観測技術の開発を柱とし、定期船のADCP観測データ等を補完的に利用することで、海洋構造の変動パターンを解析する技術を開発する。

パヤオ漁場調査は、平成8～10年度はパヤオ漁場の形成要因を解明するため流れおよび水温と漁獲の関係を調査する。

## 2. 材料および方法

(1) 調査船図南丸（176t）に装備された古野電気社のADCP：CI60Gは、対水モード（水深が200m以上では対地モードでは観測できない）の時、流速にジャイロ角のずれが原因と考えられる誤差が生じることがある。対水モードでは船速はGPS情報から真方位で計算する。船に対する海水の速度はジャイロ角で計算する。もし、ジャイロ角と真方位がずれていると、図1に示したように、船速の一部が進行方向に直角の成分として流速計算値にとり込まれてしまう（コの字型に航行すると、流向が全て外側を向いたり、逆に内側を向いたりする状況となる）。このため、出航後早い時期に（かつ流況変化の少ない海域で）南北ともに15分程度航行し、この間流況は変化しなかったと仮定して、誤差およびジャイロ角のずれを計算し修正した。<sup>\*1</sup> 計算方法は次のとおりである。

南進時および北進時の流速の東西成分：流速×sin（流向（°）×π/180）の差の1/2をXとすると、Xが誤差（進行方向直角成分）となる。ジャイロ角のずれ（°）=Asin（X/船速）×180/πとなる。<sup>\*2</sup>

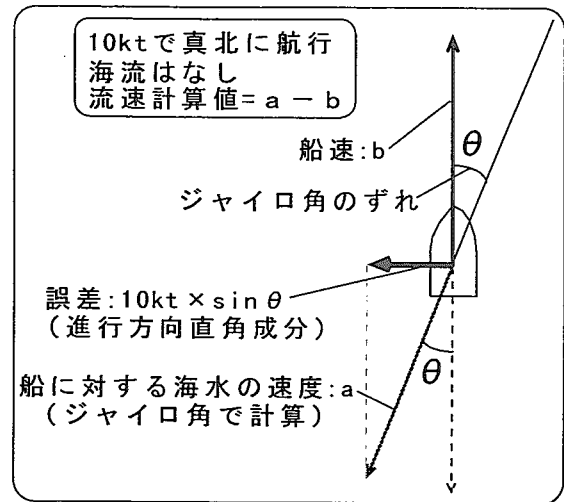


図1 ジャイロ角のずれによる流速誤差

観測後にジャイロ角のずれに気づいた場合、直進した距離が長い部分は次の方法で流速を修正した。

- ①流況が一定であったと仮定できそうな時間・海域を逆方向に航行した時のデータ、または停止中と航行中のデータを使い誤差流速を求める。
- ②観測結果を表計算ソフトに読み込み、北方成分(N1)、東方成分(E1)に分解する。
- ③直進方向ごとに、北方成分補正值(N2) = 誤差流速×cos((進行方向+90°)×π/180)および東方成分補正值(E2)を求める。
- ④修正北方成分(N3=N1-N2)、修正東方成分(E3)から修正流速を合成する。流速値は(N3<sup>2</sup>+E3<sup>2</sup>)<sup>0.5</sup>で求めた。流向(D')はIF関数を使い、D=Asin(E3/修正流速値)×180/π D'=IF(N3<0,180-D, IF(E3<0,360+D,D))で求めた。

GPS情報から船速を計算する対水モードのもう1つの欠点は、船速や船の進行方向を変えると流速に誤差が入ってしまうことである。これは、GPS情報の精度を上げるため、数分間逆のぼって位置情報を平均するために生じる誤差である。沖合定線観測等では、CTD観測を実施するため調査船が減速、

\*1 CI60Gには、ADコンバーターでジャイロ角情報を補正する機能があるので、この点で修正した。

\*2 表計算ソフトでは三角関数はラジアンで計算することが多い。πはPI等と表記する。

加速を行うたびにこの誤差が生じる。このため、ADCP観測結果を図化する際は、3分間に1回記録されるGPS情報から船速を計算し、前回の記録時と比較して一定値(2.5kt)以上船速が変化した場合、そのデータを除いた。

(2) 1998年現在、耐久性浮魚礁(ニライ)は8基設置されている。位置を図2に示した。アーンデラー社の流速計(RCM7:ローター式およびRCM9:ドップラー式)を、ニライにステンレスチェーン(φ6mm)をループ状に張って設置し、水深4m部の流向流速、水温を観測した。1998年3月31日までの観測状況は次のとおりである。

<ニライ1号>

1995.6.15-1995.10.23 RCM7

1995.11.27-1996.3.13 RCM7

1997.4.8-1997.7.3 RCM7 (6.9-7.3流速欠)

1997.7.3-1997.11.29 RCM7 (8.7-11.29流速欠)

1998.3.3-1998.3.31 RCM9

<ニライ2号>

1997.10.12-1998.3.11 RCM9

<ニライ3号>

1997.4.4-1997.7.1 RCM7 (4.7-7.1流速欠)

<ニライ5号>

1996.8.22-1996.12.25 RCM7 (11.26-12.25流速欠)

<ニライ6号>

1997.10.11-1998.3.10 RCM7

(3) 1995年10月9日、10日にニライ1号(知念沖)で23時間連続CTD観測を実施した。1995年10月12日にはニライ2号(宮古南)で6時間、1997年1月20日、21日にはニライ3号(久米島沖)で14時間観測を実施した。

(4) 32日間以上流向流速を測定した地点について潮汐調和定数を求めた。調和解析には1時間平均データを使用した。データの解析にあたり、第11管区海上保安本部の増田氏にご助力をいただいた。深く感謝するとともに今後ご協力をお願いしたい。解析に使用した期間は次のとおりである。

ニライ1号:1995年6月16日~7月17日

ニライ2号:1997年10月13日~11月13日

ニライ5号:1996年8月23日~9月23日

ニライ6号:1997年10月12日~11月12日

ニライ8号:1998年5月6日~6月6日

### 3. 結果および考察

(1) 表1に観測前のジャイロ角の補正結果を示した。

表1 図南丸ADCP誤差計算結果

| 年月日      | 南進時 |     | 北進時 |     | 誤差 <sup>#1</sup> | 修正角 <sup>#2</sup> |
|----------|-----|-----|-----|-----|------------------|-------------------|
|          | 流向  | 流速  | 流向  | 流速  |                  |                   |
| 96.2.3   | 65  | 1.0 | 103 | 0.9 | 0.0              | -0.1              |
| 96.4.15  | 238 | 0.9 | 75  | 1.3 | -1.0             | -5.8              |
| 96.6.10  | 31  | 0.3 | 213 | 0.3 | -0.2             | -0.9              |
| 96.8.8   | 83  | 1.4 | 248 | 0.6 | -1.0             | -5.6              |
| 96.10.8  | 48  | 1.2 | 261 | 1.0 | -0.9             | -5.4              |
| 96.11.15 | 164 | 0.5 | 78  | 0.9 | 0.4              | 2.1               |
| 97.2.24  | 250 | 0.3 | 107 | 1.0 | 0.6              | 3.5               |
| 97.3.18  | 10  | 0.4 | 272 | 1.5 | -0.8             | -4.5              |
| 97.4.14  | 60  | 1.4 | 310 | 0.4 | -0.8             | -4.4              |
| 97.6.3   | 65  | 1.5 | 125 | 0.7 | -0.4             | -2.3              |
| 97.8.21  | 59  | 0.5 | 259 | 0.8 | -0.6             | -3.5              |
| 97.10.6  | 304 | 0.5 | 147 | 1.0 | 0.5              | 2.7               |
| 97.11.11 | 98  | 0.8 | 166 | 0.7 | -0.3             | -1.8              |
| 98.3.2   | 52  | 1.0 | 120 | 0.7 | -0.1             | -0.5              |

#1 進行方向右側が正の流速誤差(単位:kt)。

#2 ADコンバーターで補正する角度(単位:°)。

南進時、北進時の流向流速は、15秒に1回更新されるADCPのモニター画面に表示される値を使用したため不安定であった。このため、正確にジャイロ角が補正できたとは思えない。また、誤差計算のための約30分間の航行中は流況は変化しないと仮定したが、この仮定にも無理がある。しかし、ジャイロ角の補正をおこなった航海のADCP観測結果図は、流況の概況を適切にとらえていると判断できたのに対し、補正をおこなわなかった航海では、しばしば不自然な観測結果となった。1996年2月~1998年3月の14回の補正をおこなった航海のうち、7回は誤差が0.5kt以上あり、補正をおこなわなければ不自然な観測結果となったはずである。

船速変化による誤差の除去例は、本報の「新漁業管理制度推進情報提供事業」図4に示した。

沖縄周辺海域にディファレンシャルGPS(DGPS)が適用されれば、船速変化による誤差は大幅に軽減されると思う。ジャイロ角のずれによる誤差は改善されないが、補正の精度は増し、かつ補正に要する時間(南北に航行する時間)が短くなるものと思う。

(2) 流速が観測できた期間の全データをベクトル平均し図2に示した。平均した期間は、位置によって大きく異なる。ニライ1号は1995年6月15日~10月23日、1995年11月27日~1996年3月13日、1997年4月8

日～6月8日の約11ヶ月間、ニライ2号は1997年10月12日～1998年3月11日の5ヶ月間、ニライ3号は1997年4月4日～7月1日までの3ヶ月間（流速が3日しか測定できなかったため、それ以降は50cm/sと仮定してベクトル平均した。）、ニライ5号は1996年8月22日～11月25日の3ヶ月間、ニライ6号は1997年10月11日～1998年3月10日の6ヶ月間、ニライ8号は1998年5月6日～6月20日の1ヶ月半である。ローター式のRCM7とドップラー式のRCM9とでは、RCM9のほうが若干流速が大きく測定されるように思えた。ニライ1号でRCM7（1995年6月、7月、1996年3月、1997年4月、5月）とRCM9（1998年3月～7月）の流速の単純平均値を比較した結果、RCM7：28cm/sに対し、RCM9：41cm/sで、RCM9が約1.5倍大きかった。

ニライ2号と6号の流向流速観測結果を25時間移動平均した時系列ベクトル図を図3、図4にそれぞれ示した。1997年4月～1998年3月のニライ1、2、3号における水温測定結果を図5に示した。

(3) ニライ1、2、3号における連続CTD観測の水温観測結果を図6、図7、図8にそれぞれ示した。

(4) ニライ1、2、5、6、8号の調和解析結果を表2に示した。ニライ1号では、主要4分潮の日周潮/半日周潮比  $(K1 + O1) / (M2 + S2)$  が比較的大きく、日周潮の影響が強かった。他のニライでは半日周潮の影響のほうが強い結果となった。また、ニライ2号を除いてMM（太陰月周潮）とMSF（日月合成半月周潮）の成分が大きかった。これには黒潮の変動や潮汐以外の要因も関係している可能性がある。<sup>\*1</sup>

図9に、調和定数を計算した期間のニライ1号における実測流と、調和定数から推算した潮流の北方・東方成分(32日間の実測流を平均した残差流(=恒流)を加えた)を示した。両者は比較的良好一致した。日周潮の影響が強いため、潮流の速さは大潮や小潮の時期よりも赤緯に関係する可能性がある(赤緯が赤道に近い時(E)で小さく、赤道から離れる時(NおよびS)で大きくなる(彦坂<sup>1)</sup>)。

図10に、ニライ2号について同様に計算した結果

を示した。ニライ1号より推算流と実測流はよく一致した。また、調和定数を計算した期間とは別の期間での一致性をみるため、1998年1月1日からの32日間の比較を図11に示した。一致性は悪くなった。ニライ2号は、今回調和定数を求めた5箇所のなかで、MMやMSF等半月や一月周期の分潮が最も小さかった。これらの分潮の調和定数の計算結果は、風や中規模渦等潮汐以外の要因が影響した可能性がある。ニライ1号で、今回計算した期間に続く32日間で新たに計算したところ、主要4分潮(K1, O1, M2, S2)の定数の差(振幅で平均3%)より、MMやMSFの差(振幅で平均10%)が大きかった。

図12に、ニライ1号については日周潮の潮流が強くなる赤緯が南によった日、ニライ2号については大潮の日の推算流潮流楕円(25時間)を示した。

ニライ1号で今回計算した期間の推算潮流平均流速は0.37ktだった。これに対し、のべ11ヶ月の実測流平均流速は0.55kt、平均流は東へ0.30ktだった。東への平均流は、恒流として常に流れているのではなく、時折強い東流が出現することの結果である。つまり、当海域の流況を的確にとらえるには、潮流と比べて十分大きい残差流の変動パターンも把握しなければならないことになる。1ヶ月あるいは半月程度の残差流が予測できれば、精度の高い時間単位の流況予報が可能になる。今後の課題として、それぞれのニライについて、今回使用した期間とは別の観測期間のデータを使って調和解析をおこない、合成した調和定数による推算流と実測流を比較してみる必要がある。信頼しうる調和定数が得られたなら、観測全期間について推算流を求める。そして、この推算流と実測流の差(残差流)と風、黒潮変動、渦の動向の関係を調べ、残差流の変動パターンを把握する必要がある。

## 文 献

- 1) 彦坂敏雄：第II編潮汐、「海洋物理III」(増沢讓太郎編)、東海大学出版会、東京、1971、109-132。

\* 1 与那国島西方における黒潮流軸位置の変動には約31日の周期があった(森永健司・加藤修・中川倫寿・阿部和雄・宮地邦明・鹿熊信一郎：東シナ海に流入する黒潮の中短期変動. 1995年度日本海洋学会秋季大会講演要旨.)。

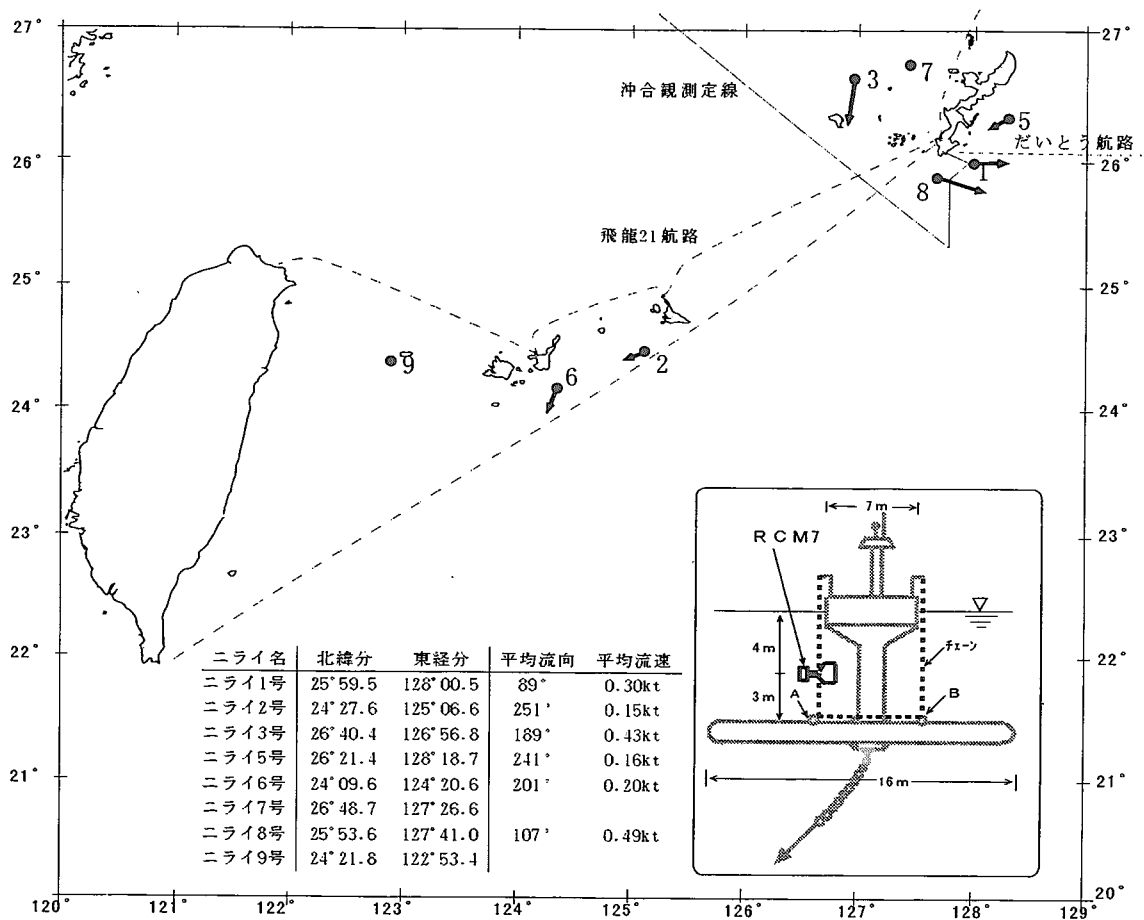


図2 ニライ位置図

表2 ニライ設置位置における調和定数

| ニライ名  | V:振幅(Knot), K:遅角(°) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | K1                  |       |       |       | O1    |       |       |       | M2    |       |       |       | S2    |       |       |       |
|       | N                   |       | E     |       | N     |       | E     |       | N     |       | E     |       | N     |       | E     |       |
| ニライ1号 | 0.172               | 16.2  | 0.189 | 81.6  | 0.08  | 52.5  | 0.052 | 145.6 | 0.011 | 39.6  | 0.073 | 277.5 | 0.086 | 66.2  | 0.039 | 159.6 |
| ニライ2号 | 0.099               | 195.9 | 0.119 | 313.1 | 0.096 | 219.8 | 0.155 | 343.6 | 0.225 | 241.2 | 0.185 | 15    | 0.074 | 293.6 | 0.065 | 59.2  |
| ニライ5号 | 0.032               | 22.2  | 0.026 | 138.5 | 0.041 | 329.7 | 0.045 | 42.6  | 0.052 | 173.5 | 0.035 | 0.9   | 0.047 | 180.3 | 0.03  | 274.9 |
| ニライ6号 | 0.029               | 67.4  | 0.046 | 157.2 | 0.047 | 304.4 | 0.047 | 40.9  | 0.079 | 262.8 | 0.04  | 348.8 | 0.02  | 249.5 | 0.034 | 322.5 |
| ニライ8号 | 0.035               | 236.7 | 0.042 | 346.6 | 0.04  | 248.4 | 0.051 | 0.6   | 0.076 | 280.6 | 0.109 | 21.5  | 0.034 | 41.1  | 0.031 | 121.7 |

| ニライ名  | MM    |       |       |       | MSF   |       |       |       | Main Dir. | Const. |       | (K1+O1)/(M2+S2) |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------|-------|-----------------|
|       | N     |       | E     |       | N     |       | E     |       |           | N      | E     |                 |
|       | V     | K     | V     | K     | V     | K     | V     | K     |           |        |       |                 |
| ニライ1号 | 0.193 | 284.4 | 0.15  | 289.9 | 0.201 | 242   | 0.253 | 343.3 | 281       | 0.205  | 0.267 | 1.99            |
| ニライ2号 | 0.029 | 64.8  | 0.074 | 41.9  | 0.018 | 47.8  | 0.012 | 205.2 | 311       | 0.021  | -0.26 | 0.83            |
| ニライ5号 | 0.086 | 258.2 | 0.138 | 31.1  | 0.028 | 157.2 | 0.106 | 316.2 | 354       | -0.05  | 0.07  | 0.71            |
| ニライ6号 | 0.256 | 86.4  | 0.055 | 40.6  | 0.129 | 3     | 0.048 | 239.2 | 30        | -0.26  | -0.22 | 0.79            |
| ニライ8号 | 0.109 | 272.4 | 0.08  | 79.7  | 0.136 | 312.7 | 0.256 | 145.2 | 278       | -0.13  | 0.187 | 0.68            |

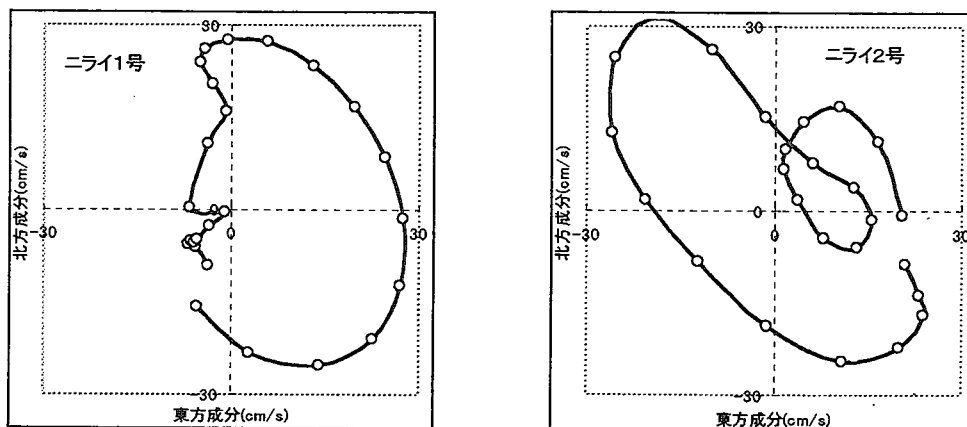
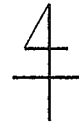


図12 ニライ1号、2号の推算流潮流精円(25時間)

ニライ 2号 RCM9 1997.10.12-1998.3.10  
25時間移動平均



/:50cm/s

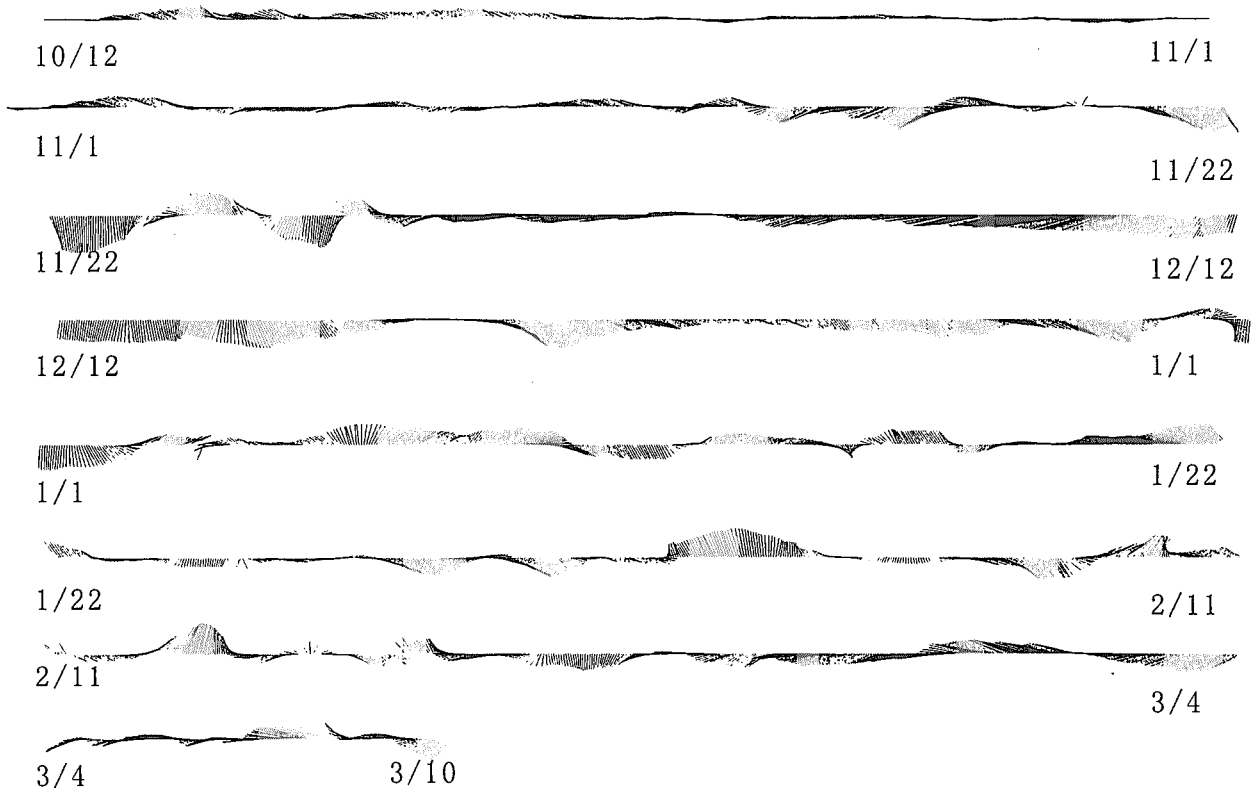


図3 ニライ 2号流速測定結果

ニライ 6号 RCM7 1997.10.11-1998.3.9 25時間移動平均

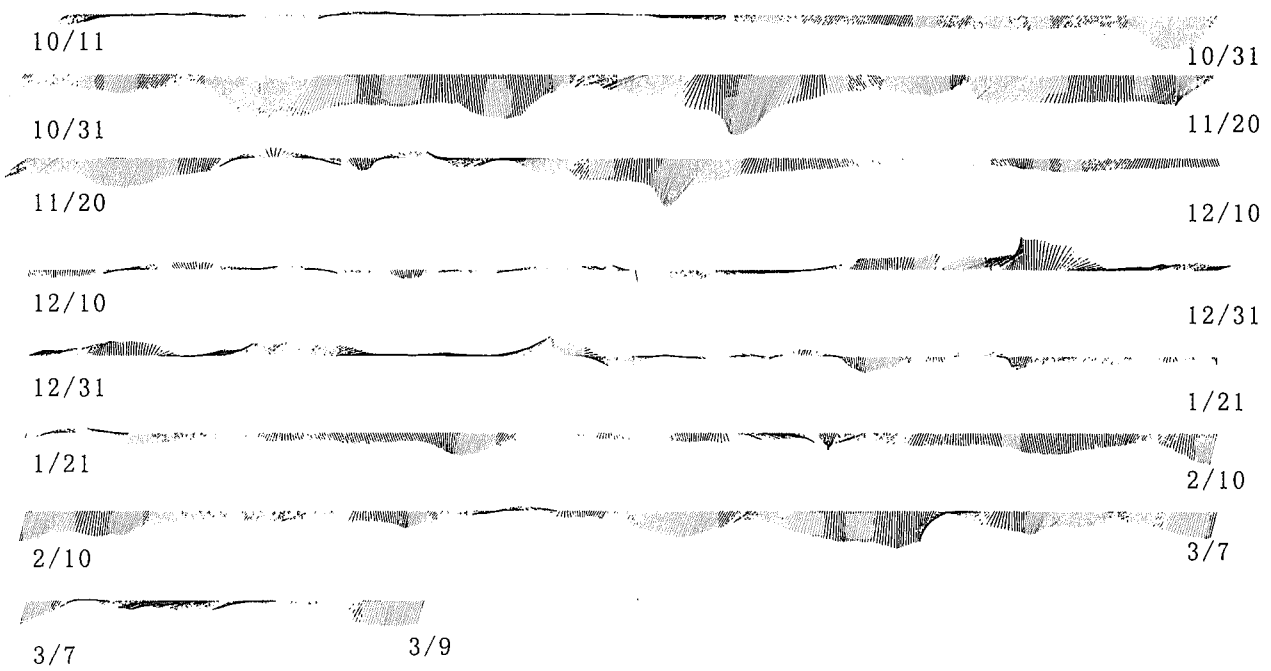


図4 ニライ 6号流速測定結果

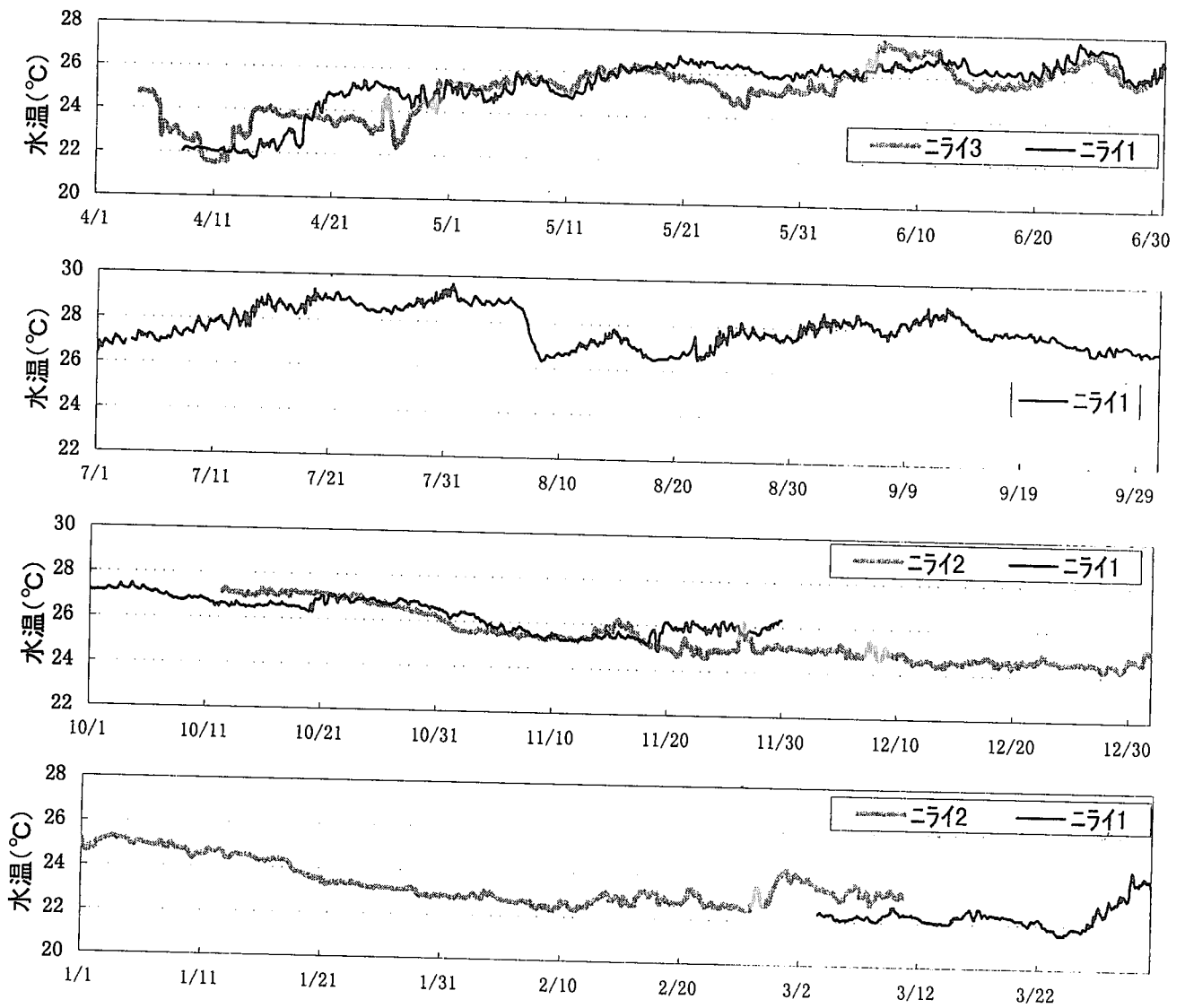


図5 1997年4月～1998年3月のニライ1、2、3号における水温推移 (水深4m)

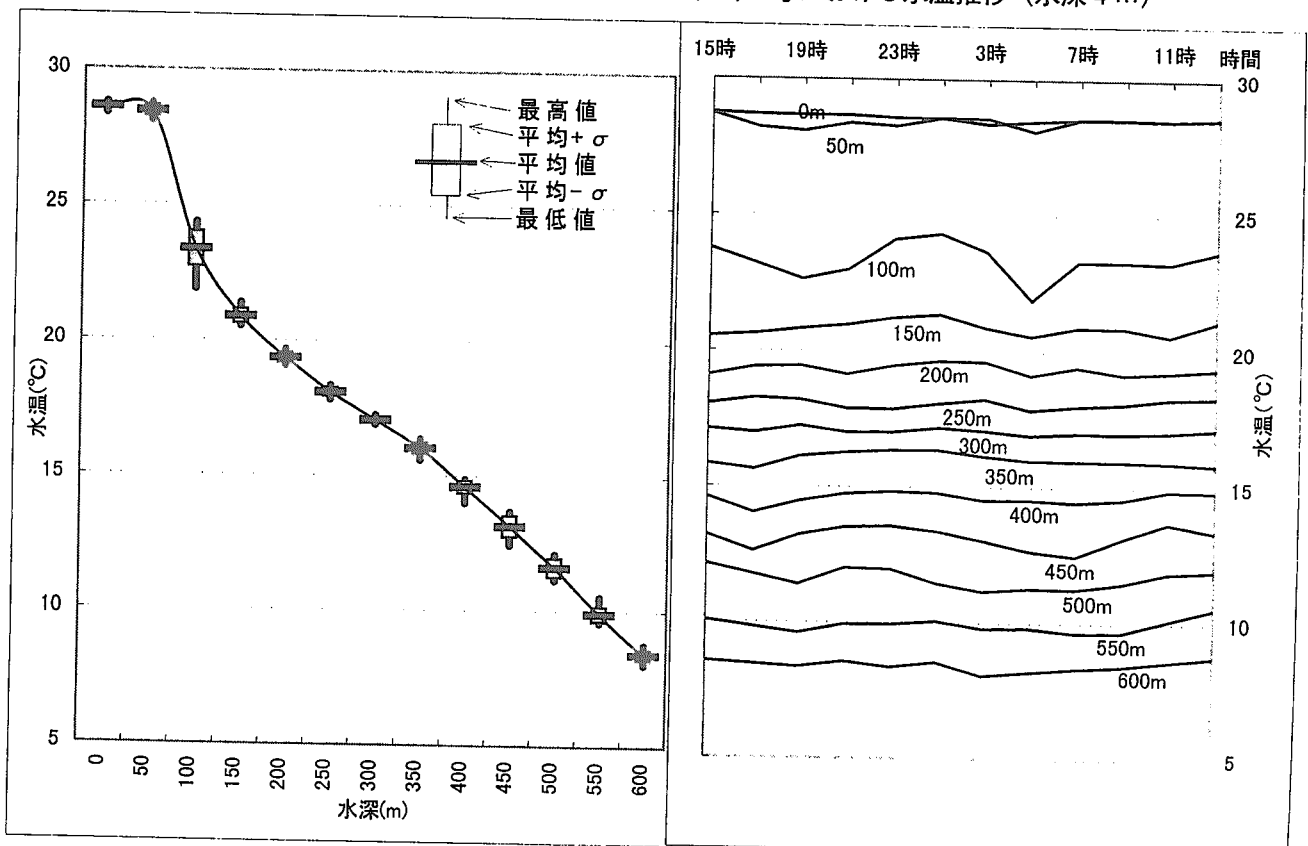


図6 ニライ1号23時間鉛直水温観測結果 (1995.10.9-10.10)

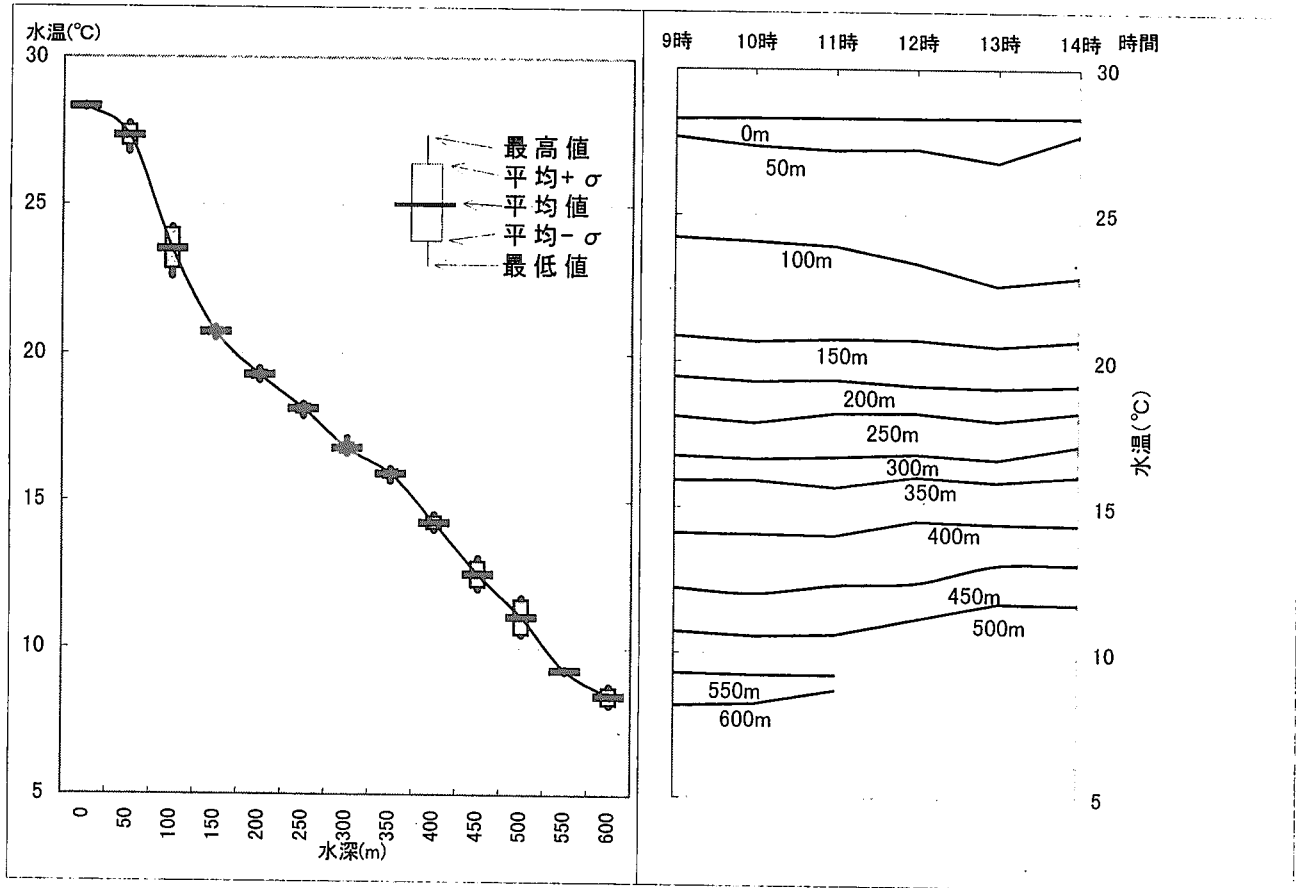


図7 ニライ2号6時間鉛直水温観測結果 (1995.10.12)

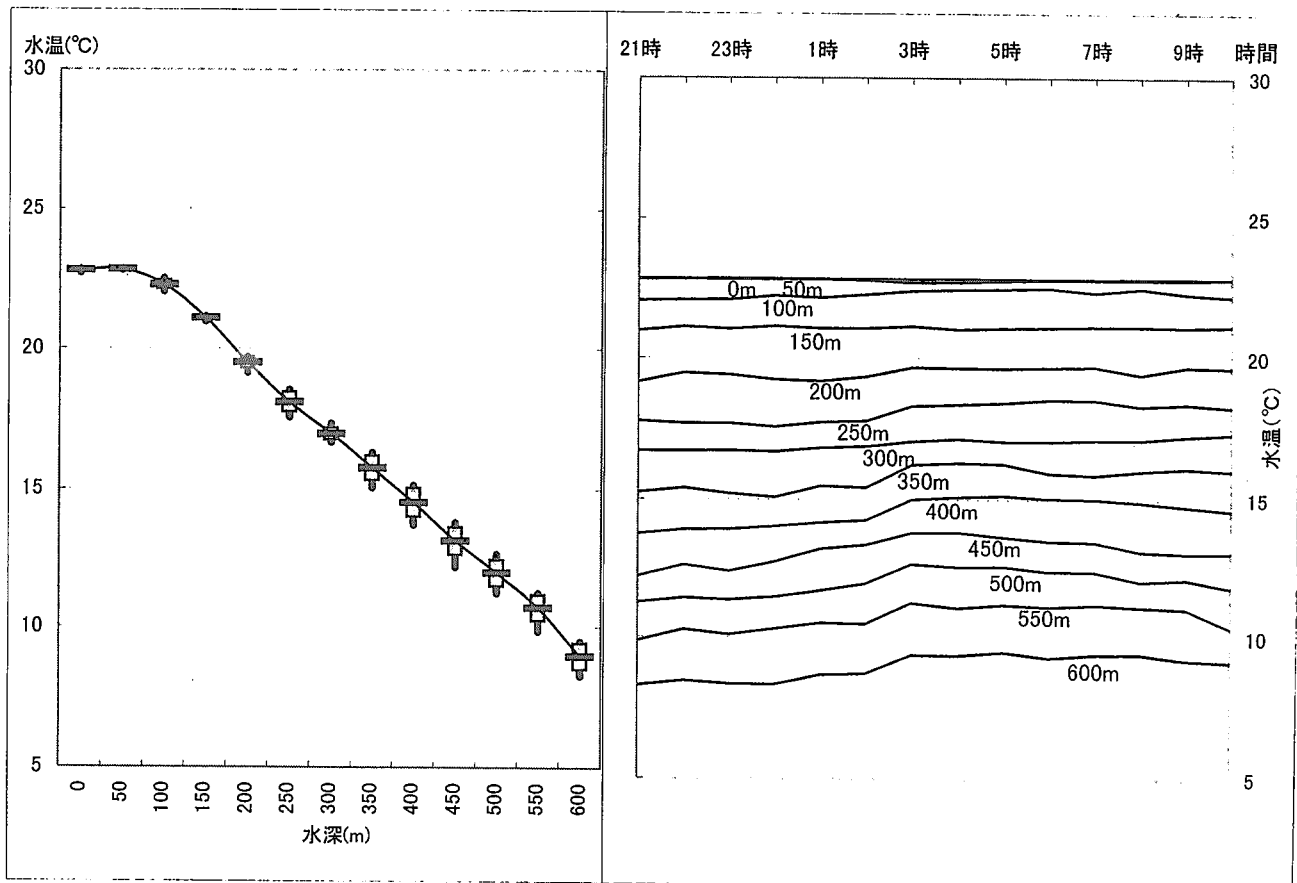


図8 ニライ3号14時間鉛直水温観測結果 (1997.1.20-1.21)

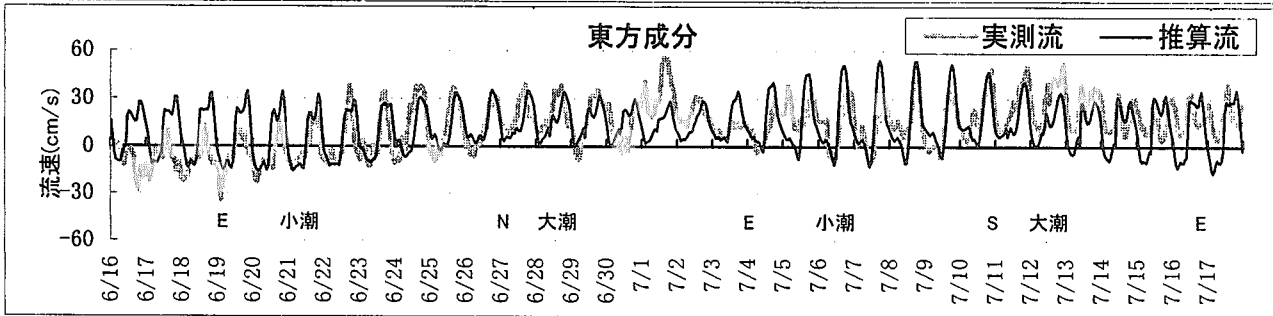
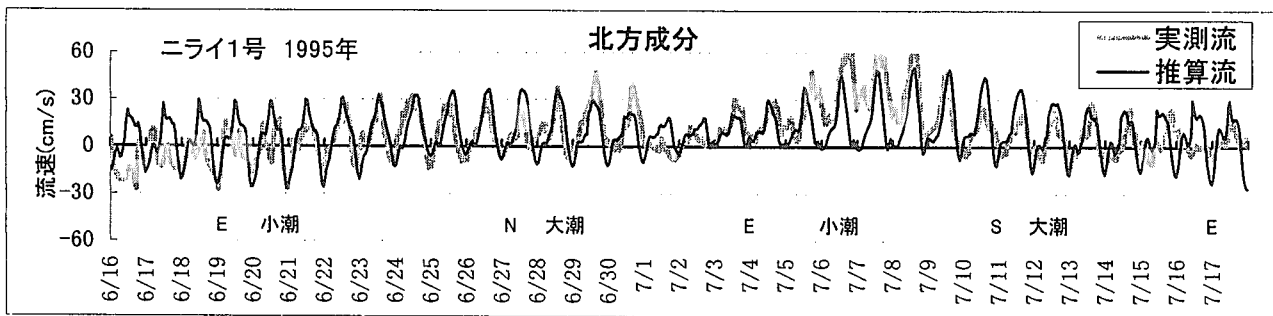


図9 ニライ1号の実測流と推算流 (32日間平均残差流を加えたもの)

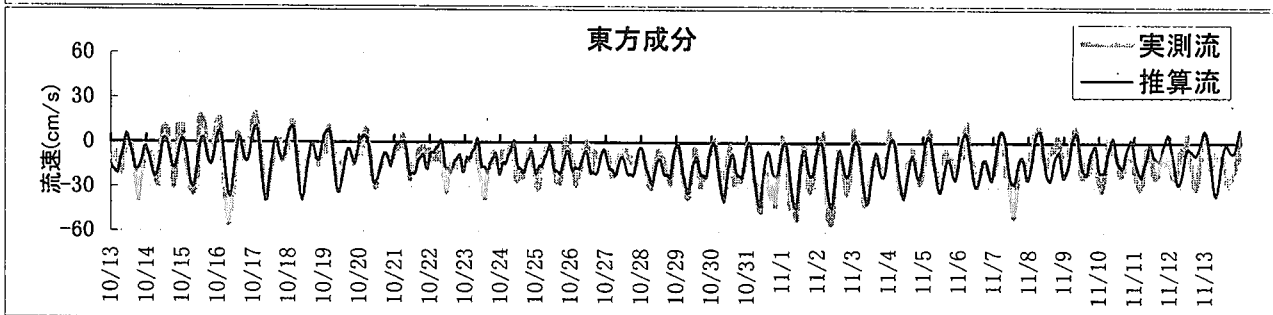
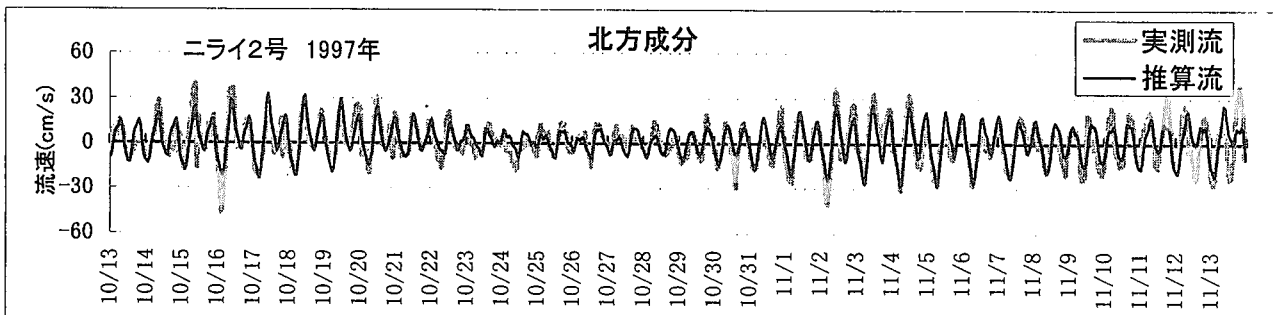


図10 ニライ2号の実測流と推算流 (32日間平均残差流を加えたもの)

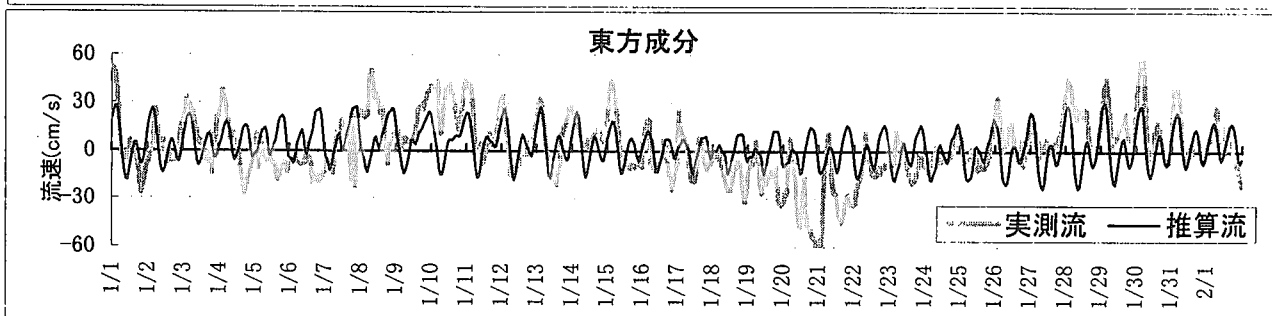
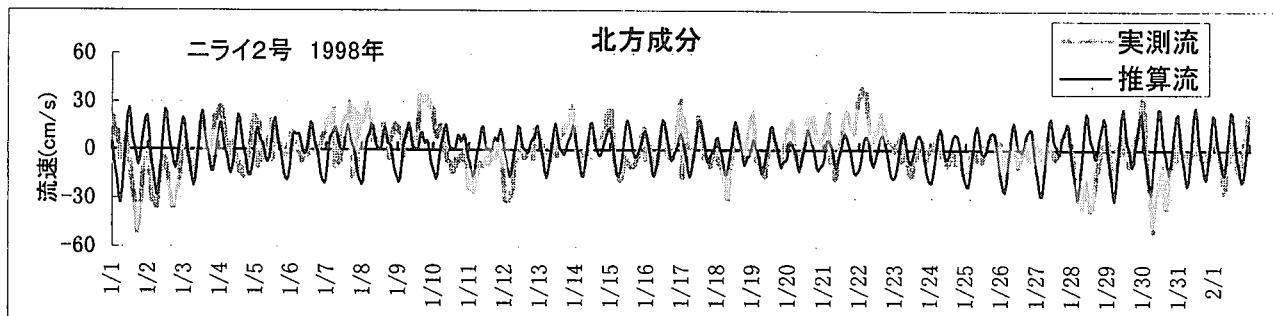


図11 ニライ2号の実測流と推算流 (32日間平均残差流を加えたもの)