

北極海中央部での漂流ブイによる絶対流速観測： コンパス誤差の評価

菊地 隆^{*1} 宇野 弘勝^{*2} 細野 益男^{*1} 畠山 清^{*1}

絶対流速の観測には様々な誤差が含まれるが、北極海のように磁極に近い海域ではコンパスが正常に動作できないために生じる角度(ヘディング)のずれが誤差として含まれる可能性がある。そこで、どのような環境下でなら正しく絶対流速観測を行うことができるかを明らかにした上で、コンパス誤差を取り除く必要がある。2003年のJ-CAD 6による北極海多年氷海域での観測の際に、同時に3軸磁気コンパス(Watson Compass)やGPSを用いた観測を行い、そのヘディング・データの比較を行った。GPSで得られたデータと比較すると、Watson Compassから得られたヘディングは約4.0度以内の精度で正しい値を示していることが分かった。WH-ADCPに取り付けられたコンパスは、水平磁力がおおよそ3,000nT以上の領域において正しい値を示し、その精度はWatson Compass同様に約4.0度以内になることが示された。しかしJ-CAD本体に取り付けられたコンパスは北極海域では正常に動作しなかった。また2002年に設置したJ-CAD 4に取り付けられたWH-ADCPとWatson Compassのヘディング・データの比較から、J-CAD 6(2003年)の観測結果と同様に、WH-ADCPのコンパスがおおよそ3,000 nT以上の水平磁力がある領域で正しい値を示すことがわかった。このようにして得られたJ-CAD 4と6の絶対流速観測の結果から、ロモノソフ海嶺や北極中央海嶺・ヤルマーク海台での地形に沿う流れや、アムンセン海盆でのロモノソフ海嶺から北極中央海嶺に向かう流れなどが観測された。

キーワード：J-CAD, 絶対流速観測, コンパス誤差, 磁極

Accurate ocean current measurement using ice-drifting buoy in the central Arctic Ocean: Estimation of compass error

Takashi KIKUCHI^{*3} Hirokatsu UNO^{*4} Masuo HOSONO^{*3} Kiyoshi HATAKEYAMA^{*3}

We have been conducting accurate ocean current measurement in the central Arctic Ocean using ice-drifting buoy, J-CAD (JAMSTEC Compact Arctic Drifter), since 2000. Because of weakness of the magnetic direction reference near the magnetic dip pole, we need to look more carefully into the compass malfunction in order to obtain accurate ocean current. Using the observational data of J-CAD 6 in 2003, we attempted heading data comparisons among J-CAD main buoy compass, WH-ADCP compass, 3-axis fluxgate magneto-metric compass (Watson Compass), and azimuthal data calculated from two GPS buoys that was installed at the both side of J-CAD. The heading data from Watson compass showed a close correspondence to the data from GPS buoys over the whole of J-CAD trajectories. The heading accuracy of Watson compass can be estimated as about 4.0 degrees in 2002 results. Compass mounted on WH-ADCP was working well with an accuracy of about 4.0 degrees under a condition where horizontal magnetic intensity was higher than 3,000 nT (30.0 mG). However, there were large errors between J-CAD main buoy compass, TCM2-50, and the GPS azimuthal data. Comparison between Watson compass and WH-ADCP compass attached on J-CAD 4 in 2002 showed that horizontal magnetic intensity should be higher than 3,000 nT for the operating environment of WH-ADCP

* 1 海洋観測研究部

* 2 (株)マリン・ワーク・ジャパン

* 3 Ocean Observation and Research Department

* 4 Marine Works Japan Ltd.

compass, as well as results in 2003. Results of current observations from J-CAD 4 and 6 show that mean current are topographically controlled over the Lomonosov Ridge, the Arctic Mid Ocean Ridge, and the Yermak Plateau. In the deep Amundsen Basin, mean current direction was from the Lomonosov Ridge to the Arctic Mid Ocean Ridge in the spring to early summer season.

Keywords : J-CAD, Absolute velocity of ocean current, compass error, magnetic dip pole

1. はじめに

北極海中央部のように磁極に近い海域では、水平磁力が弱くまた伏角が大きいなどの理由でコンパスが正常に働かないことが考えられる。そのため、例えば海流(流向・流速)や風向・風速を測定する際には、どのようにして必要な方向を得るかが問題となる。図1は、国際標準地球磁場(IGRF: International Geomagnetic Reference Field)による水平磁力の強さの分布(北緯30度以北, 2000年)を示している。2000年から北極海多年氷海域で水温・塩分・流向流速の自動観測を行っているJ-CAD (JAMSTEC Compact Arctic Drifter: 氷海観測用小型漂流ブイ)には海流を測定するためにWorkhorse-ADCP (以下WH-ADCP) が取り付けられている。そのメーカーであるRD Instruments社によると、WH-ADCPに搭載されているコンパスの動作は10,000 nT (=100 mG (1mG=100nT)) 以上の水平磁力がある領域で保障されているということである。図1の中で影をつけたところが

水平磁力の強さが10,000 nT以下の領域を表しているが、ほとんどの北極海域に加えてカナダ多島海・バフィン湾・グリーンランド海・バレンツ海などで水平磁力が10,000 nT以下であることが分かる。つまりこの保障されている範囲では、ほとんどの北極海域ではWH-ADCPを用いて観測ができないことになる。

そのため磁極に近い海域で海流観測を行う際には様々な特別な取り組みがなされている。例えば、Melling et al. (2001)¹⁾ではバフィン湾北部での係留観測の結果を示している。この係留観測では、WH-ADCPやAanderaa社のRCM4・RCM7などの流向流速計を用いている。そして、それぞれの流向流速計のコンパスに関して観測現場近くで検定を行って磁極近くでのコンパスの応答(非線形性)を調べている。バフィン湾北部でこれらの流向流速計を用いた場合、コンパスの測定値には平均すると±10-15度程度の非線形応答が見られたことが書かれている。この論文では、こ

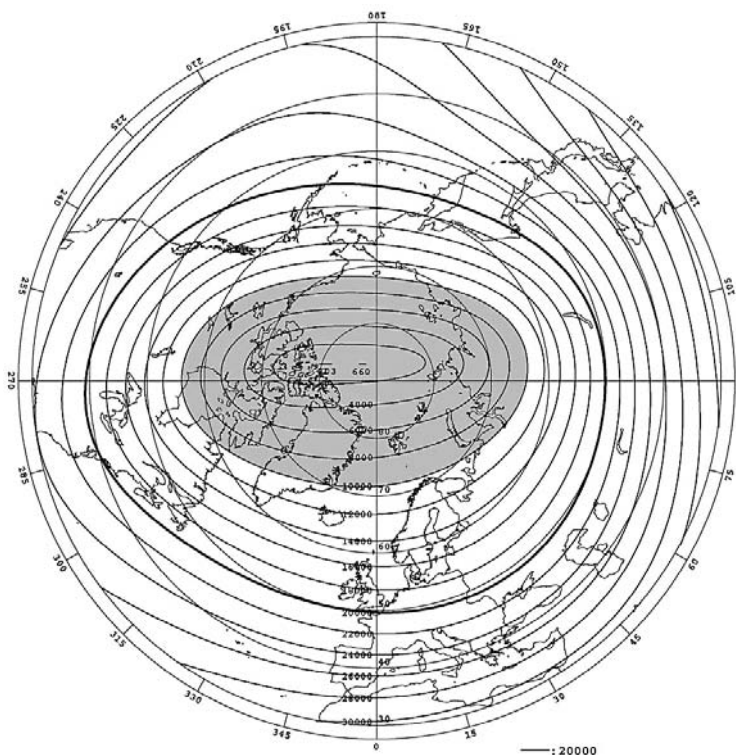


図1 IGRF (国際標準地球磁場)による北緯30度以北の水平磁場の強さ。等値線の間隔は2000 nTで、影をつけた領域は水平磁力が10,000 nT以下であることを示す。

Fig. 1 Horizontal magnetic intensity of IGRF (International Geomagnetic Reference Field) north of 30N. Contour interval of the intensity is 2000 nT. Shaded area shows that the intensity is less than 10,000 nT.

のような検定結果を用いて流向流速を計算している。また Hamilton (2001)²⁾では、伏角が88.2度と非常に磁極に近いカナダ多島海にあるBarrow海峡での海流観測について書かれている。この観測では、水平磁力が弱い場所でもヘディングを測定できる3軸磁気コンパス(Watson Compass)をWH-ADCPとともに取り付けて、このデータを用いて流向流速を求めている。観測を行う前に、実験室で伏角88.2度であるBarrow海峡の平均的磁場の状況を再現しコンパスの検定を行った上で、係留観測を行っている。

J-CADによる北極海多年氷下での自動観測ではWH-ADCPによる海流観測を行っている。磁極に近いために生じるコンパス誤差を評価し、正しい流向流速を測定するために、2002年、2003年のJ-CAD 4, 6による観測の際に、3軸磁気コンパス(Watson Compass)やGPSを用いたAzimuthalの観測を行った。そして得られたデータを比較・検討した。ここでは、その結果を報告する。

2. データ

図2は2002, 2003年に設置されたJ-CAD 4, 6の構成図及

びその漂流軌跡を示している。また表1は本研究で用いたJ-CAD 4, 6のデータの取得期間・位置等をまとめて示している。J-CAD 4は2002年4月26日に北緯88.51度、西経76.93度、アムンゼン海盆の多年氷に、J-CAD 6は2003年4月28日に北緯88.59度、東経167.38度、ロモノソフ海嶺近くのマカロフ海盆の多年氷にそれぞれ設置された。共に、電気伝導度・水温計(SBE37IM)6台とWH-ADCP 300kHz, 3軸磁気コンパスであるWatson Compassを水中センサーとして取り付けている。J-CAD 4, 6ともに1時間に1回のデータ取得を行い、人工衛星経由でデータをJAMSTECに送ってくる。J-CAD 4は設置後Amundsen海盆から北極中央海嶺(Arctic Mid Ocean Ridge)・Nansen海盆・Yermak海台を横切り、2003年4月にFram海峡からGreenland海に漂流していった。一方J-CAD 6はLomonosov海嶺・Amundsen海盆を横切り、2003年12月1日現在北極中央海嶺の北側(北緯86.8度、西経27.3度)で自動観測を続けている。

図2の構成図に示してあるとおり、J-CAD 4はWH-ADCPとWatson Compassを同じケーシングに入れて一体とした上で、ケーブル・ロープでブイ本体から吊るしている。写真1はこ

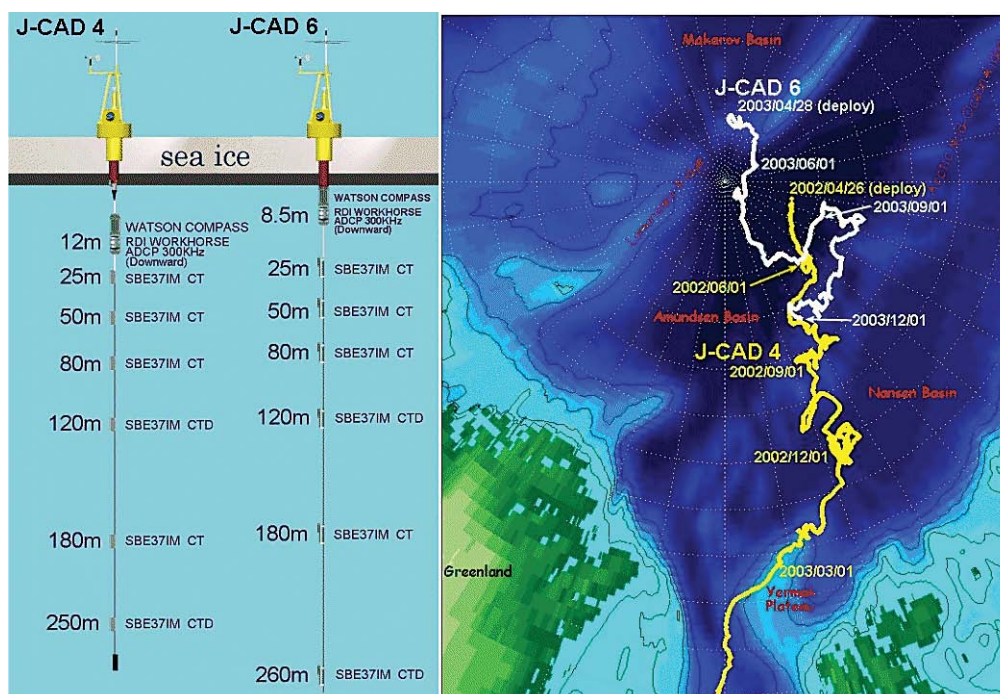


図2 J-CAD 4, 6の構成図(左)とその漂流軌跡(J-CAD 4: 黄, J-CAD 6: 白)

Fig. 2 (left) Compositions of underwater sensors mounted on J-CAD 4 and 6.

(right) Drifting trajectories of J-CAD 4 (yellow) and 6 (white)

表1 本研究で用いたJ-CADデータ

Table 1 J-CAD data summary used in this study. The buoy trajectories are shown in Figure 2.

	Date and location	Attached underwater sensors
J-CAD 4 (NPEO 2002)	2002/04/30 ~ 2003/03/31 (88.51N, 70.69E ~ 76.86N, 9.57W)	6 CT, 1 ADCP with Watson Compass
J-CAD 6 (NPEO 2003)	2003/04/29 ~ 2003/10/31 (88.62N, 166.60E ~ 86.68N, 35.60E)	6CT, 1 ADCP with Watson Compass



写真1 J-CAD 4設置時のWatson Compass及びWH-ADCPを水中に投入する時の写真

Photo 1 Installation of Watson Compass and WH-ADCP that were mounted on J-CAD 4 in 2002.



写真2 J-CAD 6設置時のWatson Compass・WH-ADCPをブイ本体とつなぐアルミ・フランジ

Photo 2 Aluminum flange between the main buoy body and the cage of Watson Compass and WH-ADCP, which are mounted on J-CAD 6 in 2003.

のケージを海中に投入するところである。ケブラー・ロープでケージを吊っているため、海水が速い速度で漂流した場合にはこのケージが漂流速度に応じて傾くことになる。一方J-CAD 6では各コンパス・データの比較・誤差評価を行うためにアルミ・フランジでブイ本体とも一体になるように取り付けた。写真2はWH-ADCP・Watson Compassの入ったケージをブイ本体と固定してつなぐためのアルミ・フランジ(海中投入直前)を写している。これにより、WH-ADCP・

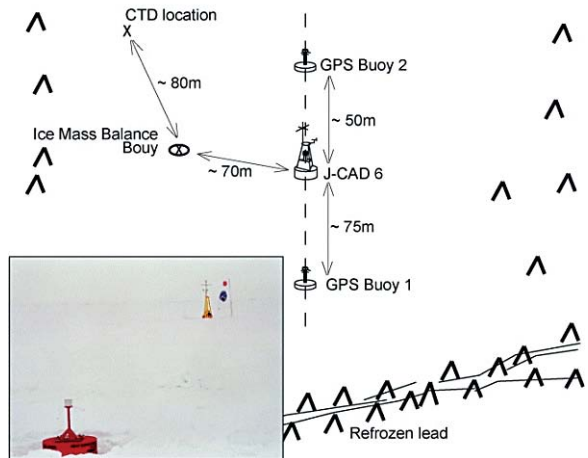


図3 J-CAD 6(2003)設置時のブイ配置図と、設置後の写真

Fig. 3 Schematic map and photo of the deployments of J-CAD 6 and GPS buoys in 2003.

Watson Compassの入ったケージが傾斜することを避け、そしてブイ本体のコンパス・データやGPSから求められるAzimuthal(方位角)データと比較が可能となる。

2003年のJ-CAD 6の観測の際には、取り付けられたコンパスの精度評価を行うために、ブイを挟んだほぼ直線状に2つのGPSブイを設置した。図3はブイ設置時の配置図と設置後のGPSブイとJ-CAD 6を写したものである。2つのGPSブイはJ-CAD 6を挟んで約125mの間隔を取る形で設置された。それぞれのGPSデータは約0.5mの解像度で取得した。ブイ設置前に行ったこのブイのGPS誤差評価テストから、GPSの位置測定誤差は約3mであることが分かっている。これによりJ-CAD 6の周りに設置したGPSブイを用いて求められるAzimuthalデータは $\arcsin(3.0/(125/2.0)) \sim 2.75^\circ$ となり、3度以内の精度で計算できることがわかった。

J-CAD 6にはブイ本体に搭載されているコンパス(TCM2-50)・WH-ADCPに付いているコンパス・Watson Compassの3つのコンパスがあり、それぞれ観測したデータを送っている。TCM2-50のコンパスデータは風向を求めるために、WH-ADCPとWatson Compassは海流の流向を求めるために取り付けられている。これらのデータをGPSブイの位置情報から計算されたAzimuthalと比較することで、それぞれの性能評価(誤差評価)を行う。また、2002年のJ-CAD 4についても同じケージの中に入っているWH-ADCPとWatson Compassそれぞれのコンパス・データの比較を行い、そのずれ・ばらつきを調べる。

3. J-CAD 6(2003)の観測結果

図4はJ-CAD 6設置時(2003年117日)から2003年10月31日(303日)までの各コンパスのヘディング及びGPSから求められたAzimuthalデータを示している。また図5は各コンパス・データとGPS Azimuthalデータの差を示している。GPS Azimuthalとの角度のずれは、観測機器を取り付ける時及びブイ設置時に生じる。このずれがある一定値になってい

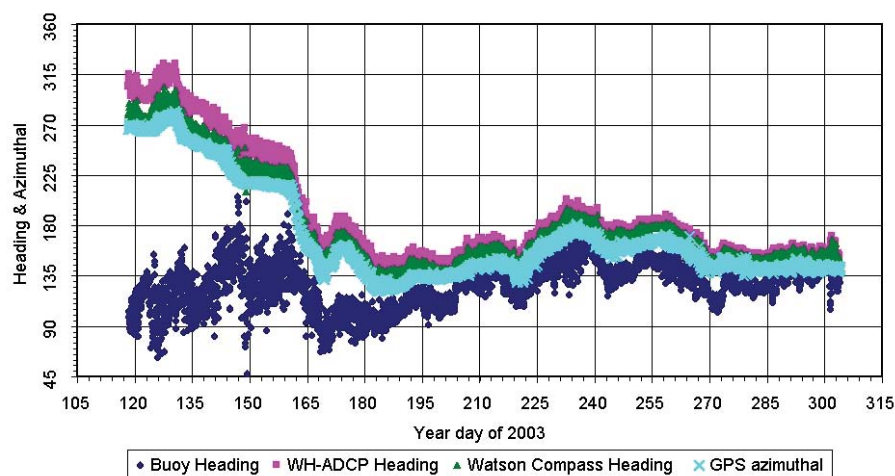


図4 J-CAD 6で観測されたヘディング・データ(紺:TCM2-50, ピンク:WH-ADCP, 緑:Watson Compass, 水色:GPS Azimuthal)

Fig. 4 Heading data obtained from TCM2-50 (dark blue), WH-ADCP (magenta), Watson Compass (green), and GPS azimuthal (light blue) mounted on J-CAD 6.

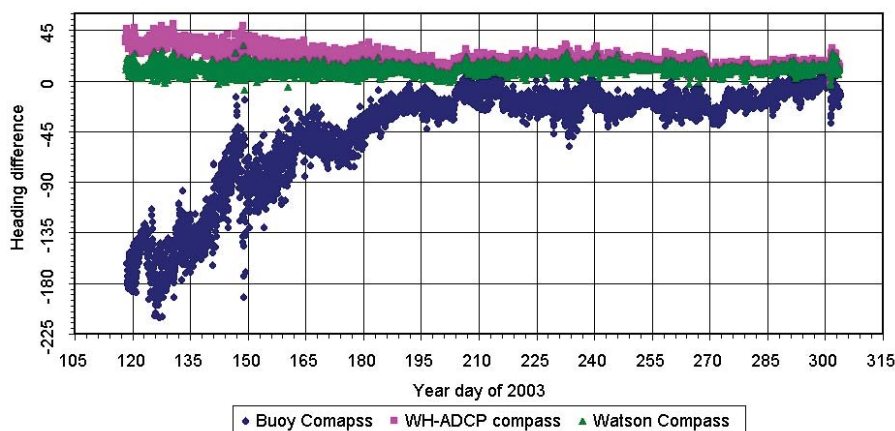


図5 J-CAD 6で観測されたGPS Azimuthalとそれぞれのヘディング・データとの差(紺:TCM2-50, ピンク:WH-ADCP, 緑:Watson Compass)

Fig. 5 Heading data difference from GPS azimuthal. TCM2-50 (dark blue), WH-ADCP (magenta), and Watson Compass (green)

れば、そのコンパスは正しく作動していることになる。GPS Azimuthalデータと比較すると、WH-ADCP及びWatson CompassはGPS Azimuthalと対応した変動を示しているのに対して、TCM2-50の観測値はGPS Azimuthalとまったく対応していない。このことから、J-CAD 6に取り付けられたTCM2-50は正常に動作しなかったことが分かった。

図6はWH-ADCPとWatson Compassについて、図5と同じものを拡大して示したものである。また、表2はデータ取得の全期間及び水平磁力が3000nT以上になる275日以降の各コンパスのずれの平均値と標準偏差を求めたものである。ここからもTCM2-50が正常に動作しなかったことがわかる。Watson Compassのデータを見ると、最初のうちはばらつきが比較的大きいものの、全ての期間においてGPS Azimuthalとのずれはほぼ一定である。平均値と標準偏差を求めると、 10.64 ± 3.79 度であった。このことから、Watson Compassはこ

の観測領域において標準偏差3.8度のばらつきを持って正常にヘディング・データを取得していると言える。一方WH-ADCPに付いているコンパスは、設置直後はGPS Azimuthalと大きなずれを持っていたが、徐々にその差は縮まり、275日目以降はほぼ一定値に収束した。275日目以降のずれの平均値と標準偏差は、 13.12 ± 2.88 度と求められた。

時間と共にコンパスのずれが収束してくることは、ブイが大西洋側に漂流するにつれて水平磁力が強くなり、コンパスの応答がよくなることで説明できる。図7はコンパスに働く力について簡単に示した模式図である。この図の中では上を磁北として考える。図7(a)の場合、コンパスの針は北を向いていない。ここでコンパスにかかる磁力を「コンパスが現在向いている方向の成分」と「その接線方向の(コンパスを回転させようとする)成分」に分けると、回転させようとする方向に大きな力が働いていることがわかる。この力がコ

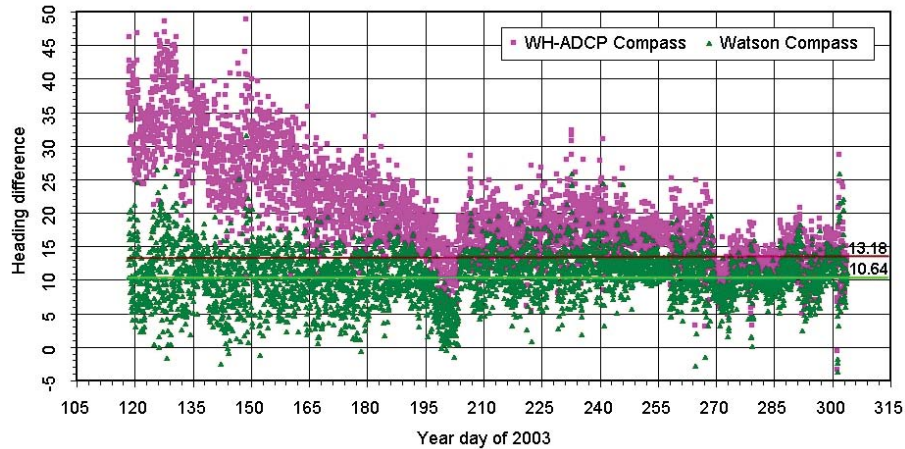


図6 GPS Azimuthalとそれぞれのヘディング・データとの差の拡大図 (ピンク: WH-ADCP, 緑: Watson Compass)

Fig. 6 Extended diagram of heading data difference from GPS azimuthal. WH-ADCP (magenta), and Watson Compass (green)

表2 J-CAD 6に取り付けられたコンパスの誤差評価の結果

Table 2 Heading error estimation of each compass attached on J-CAD 6

	TCM2-50	WH-ADCP	Watson Compass
(All data)			
Average	-45.02	19.96	10.64
r.m.s.	47.45	7.74	3.79
num.	4337	4332	4251
(After 275 days)			
Average	-	13.18	10.59
r.m.s.	-	2.88	2.92
num.	-	676	659

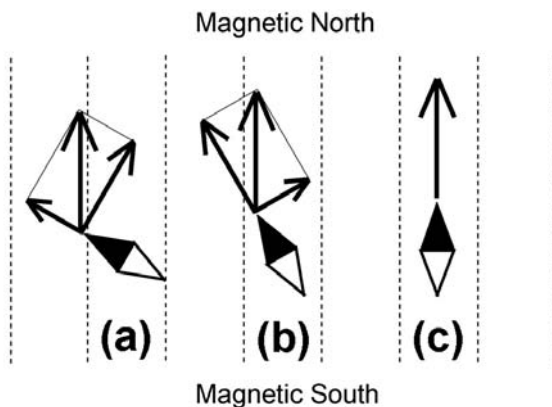


図7 コンパスにかかる磁力の概念図

Fig. 7 Schematics of horizontal magnetic force to the compass

ンパスを北に向くように動かそうとする。図7(b)では、コンパスが既に図7(a)よりも北に向いているために、コンパスを回転させようとする力は図7(a)よりも弱くなっている。そして図7(c)のようにコンパスが磁北方向を指すとこれ以上は動かなくなる。それぞれのコンパスには応答するために必要な最低の磁力があるはずである。例えば図7(a)の状況であればコンパスを北に向けるだけの水平磁力があったと

しても、図7(b)の状況まできた時の磁力ではコンパスを動かすことができなかった場合、磁北の方角とコンパスが指す方角にずれを生じる。これは水平磁力が大きくなれば解消されるものである。

図8はJ-CAD 6が観測した水平磁力の時間変化(期間は図4,5,6と同じ)を示している。点は観測値を、緑色の線は25時間平均値を示す。水平磁力の大きさは、ブイ設置時から210日目にかけて徐々に大きくなるが、その後240日目にかけて弱くなる。それ以降は南に向かって漂流するにつれて再び水平磁力は大きくなる。図6の結果からWH-ADCPのコンパスのずれが275日目以降収束したことがわかったが、275日目以降の水平磁力の大きさは30 mGauss (3000 nT) 以上の値を保っている。このことから、WH-ADCPにつけられているコンパスは、30 mG以上の水平磁力がある領域では正しい値を示しそうであると言える。水平磁力とWH-ADCPにつけられたコンパスのずれとの関係をより明らかにするために、両者の関係を図に示したものが図9である。図9中の点は観測値を、赤実線と赤点線はそれぞれ2.0 mGごとに求められたコンパスのずれの平均値と標準偏差である。水平磁力が小さいところでは、ずれも標準偏差も大きく、コンパスが正常に応答するために必要な磁力が得られていないことがわかる。水平磁力が大きくなるにつれて、ず

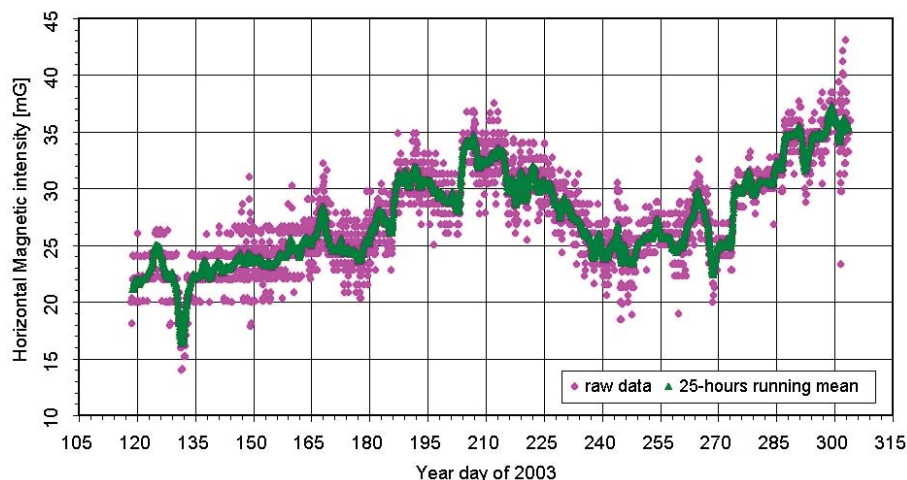


図8 J-CAD 6で観測された水平磁力の大きさ(ピンク:観測値, 緑:25時間平均値)

Fig. 8 Horizontal magnetic intensity observed by Watson compass mounted on J-CAD 6.

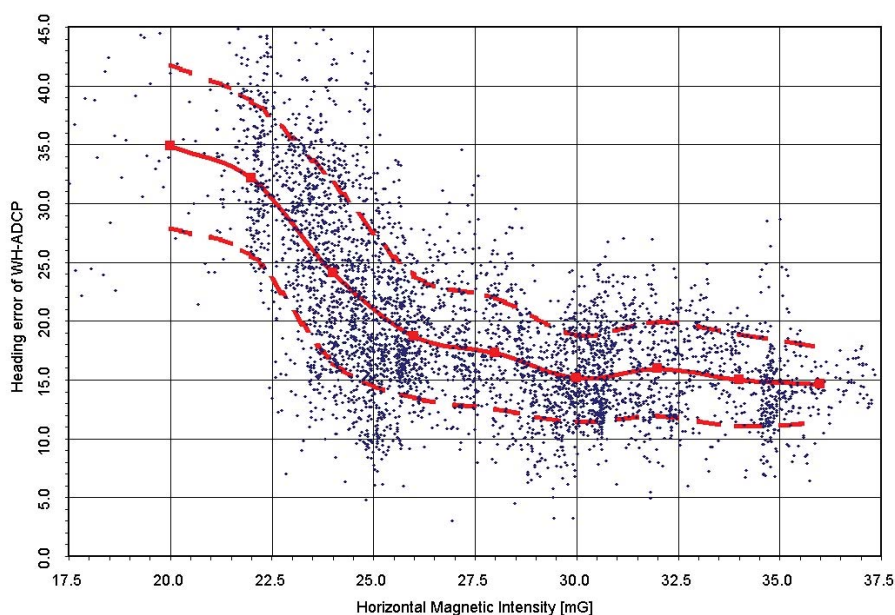


図9 J-CAD 6で観測された水平磁力の大きさに対するWH-ADCPのコンパスのずれ

Fig. 9 Heading difference of WH-ADCP with GPS azimuthal to horizontal magnetic intensity.

れの平均値は15.0度付近に収束し且つその標準偏差も小さくなる。そして、30.0 mG以上ではコンパスのずれはほぼ一定値に収束する。30.0 mG以上での値を平均すると、ずれは 15.49 ± 3.75 度と求められた。

J-CAD 6の観測結果から、Watson Compassはすべての領域で正しく応答しており、そのデータのばらつきは約4度以下であることが分かった。WH-ADCPに取り付けられたコンパスは30.0 mG以上の水平磁力がある環境ではWatson Compassと同程度の精度(4度以下のばらつき)でヘディング・データを測定できることが分かった。合わせて残念なことに、ブイ本体に取り付けられたコンパスTCM2-50はこの環境下では正しいヘディング・データを示していないことが示された。そのため風向データについては補正を行う必要があると分かった。

4. J-CAD 4 (2002) の観測結果

2002年のJ-CAD 4の観測においても、WH-ADCPと共にWatson Compassを用いた観測を行っている。前章で述べたJ-CAD 6 (2003年)の観測との違いは、GPSによる比較実験を行っていないこととWH-ADCPとWatson Compassを入れたケージをブイ本体からケブラー・ロープで吊るしている(写真1参照)ために海水漂流に伴ってケージが傾くことが挙げられる。しかし、どちらのコンパスとも、ヘディング・データと共に傾斜データも得ている。これらのデータを用いて、J-CAD 6と同様にヘディング・データの比較を行った。その際、前章の結果からWatson Compassの値が正しい値を示していると考えて、WH-ADCPのヘディング・データがどれくらい正確か、どういう状況で正常に動作するのかを調べた。

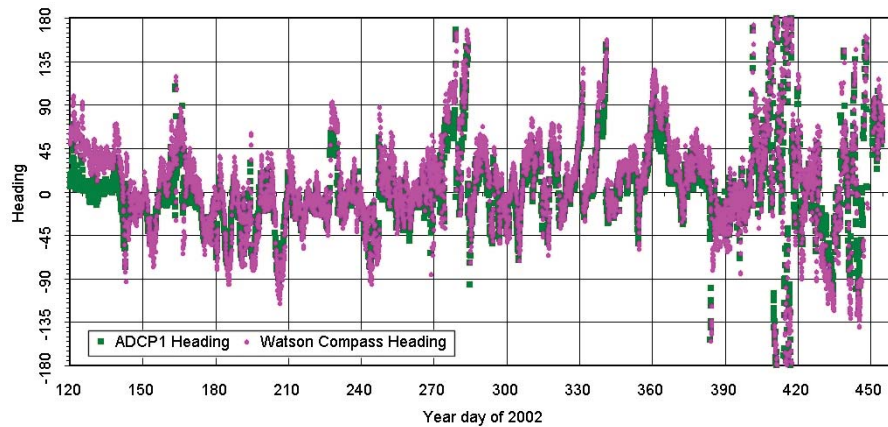


図10 J-CAD 4で観測されたヘディング・データ(ピンク: Watson Compass, 緑: WH-ADCP)

Fig.10 Heading data obtained from WH-ADCP (green), and Watson Compass (magenta) mounted on J-CAD 4.

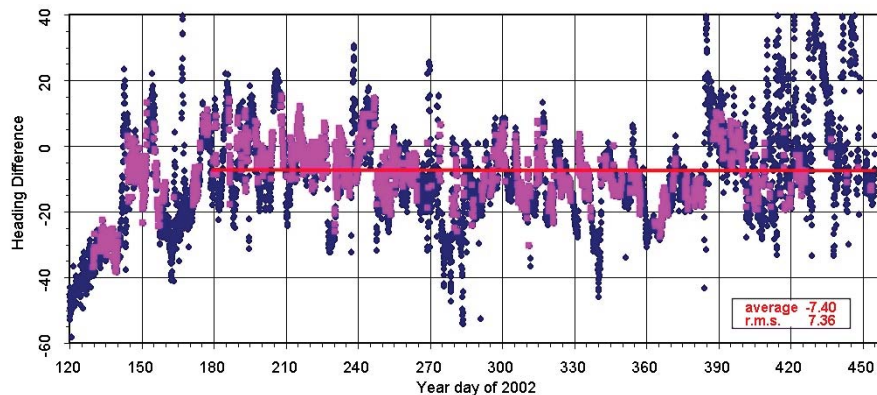


図11 J-CAD 4で観測されたWH-ADCPとWatson Compassのヘディング・データとの差

Fig.11 Heading data difference between WH-ADCP and Watson Compass.

図10はJ-CAD 4設置時(2002年115日)からFram海峡を抜けて北極海を脱する2003年03月31日(453日)までのWH-ADCPのコンパス及びWatson Compassのヘディング・データを示す。2つのコンパス・データは、設置直後は大きなずれを持っているが、およそ180日目以降は同じように変動しているように見える。図11はこの2つのヘディング・データの差を示したものである。J-CAD 4の場合、前述のとおり、WH-ADCPとWatson Compassが入れられたケージが海水の漂流に伴って傾く。図11の青点はWatson Compassの傾きが1度以上のデータを、赤点は1度以下のものを示している。この図から、傾きが大きい場合にヘディング・データの差が大きくなることがわかる。これはコンパスが傾くことによって誤差を生じていると考えられるため、ここではこれらのデータを除去してコンパスの磁力に対する影響を調べることにする。

図12はJ-CAD 4で観測された水平磁力の時間変化を示す。ここでWatson Compassの傾きが1度以上のデータは除去されている。青点は観測値を、赤線は短周期の変動を取り除いた水平磁力の変動を示すために求められた6次多項式による近似曲線を示す。設置後からしばらくの間の水平磁力は20.0 mG以下であったが、およそ180日目以降には30.0

mG以上になることが分かる。180日目以降の1度以下のデータからヘディングのずれと標準偏差を求めると、 -7.40 ± 7.36 度と計算された。図11中の赤実線が平均値を示している。J-CAD 6のように観測機器が固定されている場合と異なるため、そのばらつきはおよそ7.4度まで大きくなった。しかしこれらの結果から、J-CAD 6の結果と同様に、WH-ADCPのコンパスは30.0 mG以上の水平磁力がある領域ではWatson Compassと比較して正しいヘディング・データを測定していたことが示された。

5. まとめと議論

2003年のJ-CAD 6を用いた観測の際に、ブイ本体・WH-ADCP・Watson Compassにそれぞれ付いているコンパスの磁極近くでの性能を確認するために、GPSブイを用いたAzimuthalの観測を行い、それぞれのヘディング・データと比較を行った。ヘディング・データを比較した結果、Watson CompassはJ-CAD 6の全ての漂流軌跡上で正しいヘディング・データを測定していること、そのデータのばらつきは4度以内であることが分かった。WH-ADCPに取り付けられているコンパスは、30.0 mG以上の水平磁力がある領域では、

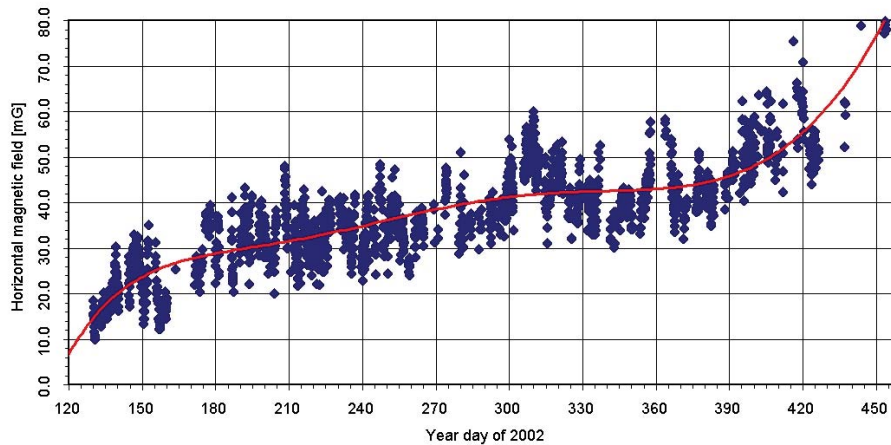


図12 J-CAD 4で観測された水平磁力の大きさ（紺：観測値，赤：6次近似曲線）

Fig.12 Horizontal magnetic intensity observed by Watson compass mounted on J-CAD 6.

Watson Compassと同様に4度以内のばらつきを持って正しいヘディング・データを示していた。しかし、ブイ本体に取り付けられたコンパス(TCM2-50)は、すべての領域でGPSから計算されたAzimuthalデータと対応しない値を示した。つまり極域では正常に作動していないことが分かった。

通常の極域での風向風速観測の場合には、磁北に対して測器の決められた方向を合わせて観測機器を取り付けて（固定して）観測を行うため本研究で論じたようなコンパスに関する問題は生じない。しかし漂流ブイのように方向のリファレンスを固定できない環境で観測を行う場合には、水平磁力の強さに対する性能を考慮する必要がある。また他にもTCM2-50が正常なヘディング・データを取得できなかった理由としては、気温が低かったことも可能性として考えられる。WH-ADCPやWatson Compassは観測中には水中にあり水温がおおよそ結氷温度（約-1.7℃）でほぼ一定であったのに対して、TCM2-50はブイ本体内部に配置されているために水中センサーよりも低温の環境に置かれていたと考えられる。北極海多年氷上では時として気温が-30℃以下になることもある。ここでは調べることができなかったが、低温環境下での性能も考える必要があると思われる。

2002年のJ-CAD 4の観測で得られたWH-ADCP・Watson Compassのヘディング・データについても比較・検討を行った。その際に、これらのセンサーを収めたケージが海水の漂流に伴い傾斜することを考慮して、傾斜角が1度以下のデータを用いて解析をした。2003年の結果に基づいてWatson Compassが正しいヘディング・データを測定すると仮定してWH-ADCPのコンパスの性能を評価した結果、J-CAD 6の結果と同様に、水平磁力が約30.0 mG以上の領域ではWH-ADCPはほぼ正しいヘディング・データを測定していることが分かった。その際、J-CAD 4のヘディング・データのばらつきは約7.4度であった。図1では北緯30度以北で水平磁力が100.0 mG以下の領域を図示した。WH-ADCPのメーカーであるRD Instrumentsからの話では北極域の大半が100.0 mG以下の水平磁力しか持たず、WH-ADCPのコンパスの動作は保障されていなかった。しかし今回の結果から、

30.0 mG以上の領域では正しいヘディング・データを測定できることが分かった。図13は、図1と同様に北緯30度以北の水平磁力の大きさを示している。影のついた領域は30.0 mG以下の水平磁力の領域を示している。図1と比べてはるかにその範囲が小さくなっており、カナダ多島海北部・マカロフ海盆・シベリア寄りアムンセン海盆域などが30.0 mG以下となっている。これらの海域では依然としてWH-ADCPのコンパスが正しいヘディング・データを出す保障はないが、それ以外の海域では信用できそうであることが分かった。

J-CAD 4のデータを解析する際に、観測機器の傾斜の影響を除去するために傾斜角が1度よりも大きい時のデータを除去してデータ解析を行った。この「1度」という閾値を3度・5度・閾値なしと変えて同じようにデータのばらつきを調べると、閾値を1度の時に約7.36度であった値がそれぞれ9.35, 10.13, 13.89度と大きくなった。ブイ本体に固定することでWH-ADCP・Watson Compassがほとんど傾斜しなかったJ-CAD 6の場合にはWH-ADCPとWatson Compassとのヘディング・データの差のばらつきがほとんどなかった(0.48度)。このことと合わせて考えると、観測機器が傾くことでコンパスの性能は非常に悪くなることが容易に分かる。漂流ブイにWH-ADCPを取り付けて流向・流速を測定する場合には、ブイ本体に観測機器を固定する方式の方が良いと思われる。

図14はこのようにして得られたNansen海盆からYermak海台・Fram海峡を経てGreenland海にかけてのJ-CAD 4による流向流速観測の結果（50～100m深の平均）である。等値線は500m間隔での深さを示しており、影が付いた部分は水深1500mよりも浅いところを表している。Spitzbergenの西側を北に向かう流れはWest Spitsbergen Current (WSC)と呼ばれており、大西洋起源の高温・高塩分の水塊を北極海に流入させる。J-CAD 4の結果からも、WSCが北極海に流入し、その後およそ1500mの等深線に沿ってYermak海台の周りを流れていることが分かった。このようにJ-CAD 4と6の絶対流速観測の結果から、ロモノソフ海嶺や北極中央海

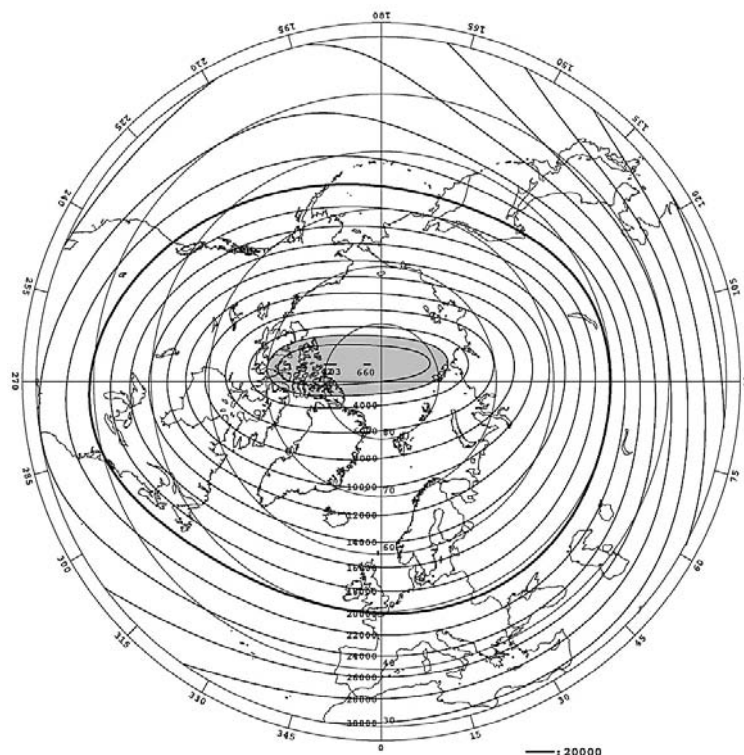


図13 IGRF (国際標準地球磁場)による北緯30度以北の水平磁場の強さ。等値線の間隔は2000 nTで、影をつけた領域は水平磁力が3,000 nT以下であることを示す。

Fig.13 As in Figure 1, but shaded area shows that the intensity is less than 3,000 nT.

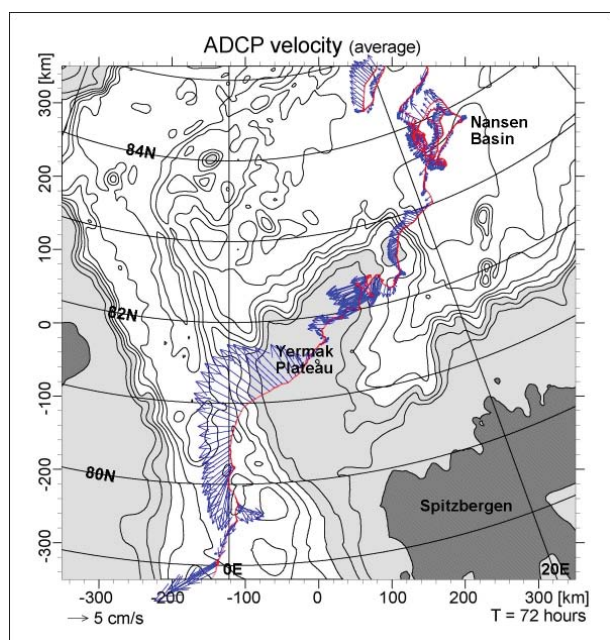


図14 J-CAD 4で観測されたYermak海台付近の50-100m深の海流(72時間の移動平均値)。等値線は500m間隔の深さを示し、影がついた領域は1500m深より浅いことを示している。

Fig.14 Ocean current around the Yermak Plateau observed by J-CAD 4. The observational data is averaged during 72 hours and between 50 and 100m depths. Contour lines show isobaths with an interval of 500m and shaded area corresponds to the area where is shallower than 1500m depth.

嶺・Yermak海台での地形に沿う流れや、アムンセン海盆でのロモノソフ海嶺から北極中央海嶺に向かう流れなどが観測されており、水温・塩分データと共に現在解析を行っているところである。

謝辞

J-CAD 4, 6の設置は、米国NSF (National Science Foundation) のプロジェクトであるNPEO (North Pole Environmental Observatory: 北極点環境観測) プロジェクトのもとで行われた。James H. Morison氏、Andreas Heiberg氏をはじめ、協力して頂いたNPEO 2002, 2003の参加者に厚くお礼を申し上げます。また、J-CAD及びIce Beaconのデータ処理に関しては、国際気象海洋株式会社の加藤賢一氏に協力して頂きました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) H. Melling, Y. Gratton, and G. Ingram, "Ocean Circulation within the North Water Polynya of Baffin Bay," *Atmosphere-Ocean*, 39(3), 301-325 (2001).
- 2) J. M. Hamilton, "Accurate Ocean Current Direction Measurements Near the Magnetic Poles," *Proceedings of the Eleventh (2001) International Offshore and Polar Engineering Conference*, 656-660 (2001).

(原稿受理: 平成15年12月24日)