

漂流ブイの軌跡に見られた慣性周期運動†

石井春雄*

Inertial Motion Detected by Satellite-Tracked Surface Drifter †

Haruo ISHII*

Abstract

From late October to middle November in 1981, trajectory of the ARGOS surface drifter which flowed in the sea area 41-39 °N east off Japan depicted continuously anticyclonic trochoidal loops. Twentyone loops, which were mostly circular, were found in the period from 25 October to 11 November with the average period of 18.8 hours. This clearly shows the existance of inertial motions in the studied area. The mean flow was calculated to be 10-25cm/sec southwestward from 18-19 hours running averaged locations from interpolated locations of the drifter at every one hour. Using above results, the speed of inertial motion was estimated as 45-80 cm/sec. Time change of speed and radius of inertial circular flow tend to decrease as a whole, respectively, with several intermittent increases. It is suggested that these intermittent reinforcement are generated by strong wind blow on the sea surface at every 3-5 days.

1. はじめに

水路部では1980年以来、海流の実態調査のためにアルゴスシステムを利用した海面漂流ブイ調査を行って来ている (Ishii *et al.*, 1982; 道田, 1997). 漂流ブイの軌跡は複雑な流れの存在を示すが、そのうち空間的に小規模であるが、頻繁かつ顕著にみられるのが、直径十数kmのループ状の挙動であり、これらは慣性振動周期の流れに乗ったためと推定される (例えば、石井・道田: 1985). このような漂流ブイの軌跡の中で、1981年10月下旬から11月中旬にかけて、三陸東方沖の海域で約20日間にわたって、時計廻りのループを描きつつ流れたブイ (ID. No.2025) は特に注目される。Fig. 1の a, b に、このブイの軌跡を示す。また、Fig. 2 (上) に衛星決定位置 (緯度・経度) の時間変化を示す。緯度・経度の規則的な変化と、その周期

(18~19時間) が緯度41°~39°における慣性周期である18.3~19.1時間と良く対応することから、ブイの移動速度に慣性周期成分が含まれていると容易に推定される。三陸東方沖における、このような漂流ブイの短周期的な挙動は、Tomosada (1991)、友定(1992)でも報告されている。しかし、Tomosada の報告にある慣性振動の減衰は早く、本稿の Fig. 1, Fig. 2 に示した一見したところの長期間持続は見られない。

本稿では、当該ブイが描いた軌跡のうち、一般流の流向がほぼ南西方向に一定していた、10月25日から11月11日までの約17日間の慣性運動の時間変化を詳しく見てみる。なお、漂流ブイに取り付けられたドローグ (抵抗布) の形は短筒型 (Ishii *et al.*) であり、近年使用されている穴開きの円筒型 (Michida and Yoritaka, 1995) とは異なるが、ドローグは流れに対して垂直に立っていたとし

† Received 1997 December 22th; Accepted 1998 February 2nd.
* 海上保安大学校 Maritime Safety Academy.

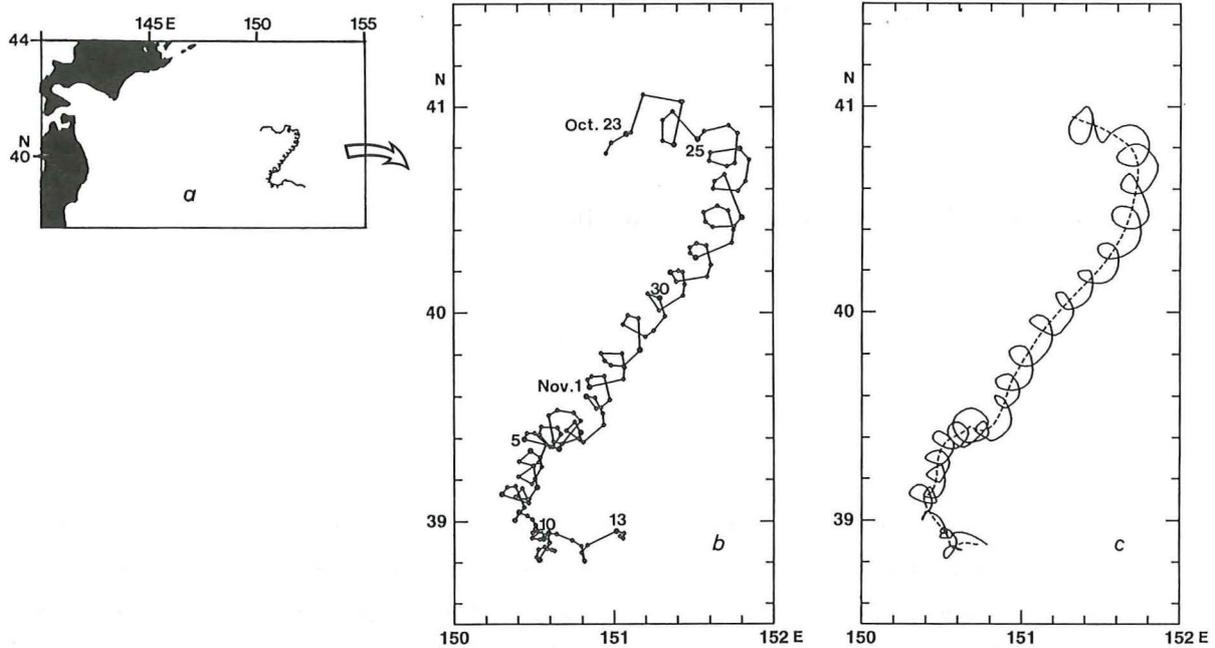


Fig. 1 Trajectory of surface drifter from late October to middle November 1981. Circles in fig.b show locations observed by ARGOS system, and solid circle is first-time location in each date. In fig.c, solid curve shows interpolated location at every one hour and dashed curve show running averaged location for 18 and 19 hours, respectively.

て、ブイの漂流速度が流れの速度を表すと仮定する。

2. 方法

漂流ブイの位置は、多い場合で1日あたり7~8回測定され、時間間隔は不均等である。ここでは測定された緯度・経度から1時間ごとの正時の値を内挿した。内挿方法(AKIMA法)は、JODC(日本海洋データセンター)が、深度が離散的なデータから標準層の値を求める際に使用しているものである。Fig. 2(下)の実線は、これらの内挿値を示している。

漂流ブイの軌跡から見て、ブイは南西に向かう一般流と、慣性周期の流れとが重畳した流速で移動していると考えられる。これらを分離するために、緯度・経度の1時間内挿値に18時間(19個)移動平均をかけ、更に19時間(20個)の移動平均をかけた。Fig. 1(c)及びFig. 2(下)の各図中の破線が、これらの移動平均をほどこした値である。さらに、1時間内挿値から移動平均値を差し引いたものが、慣性周期の流れの成分による緯度・経

度の時間変化を与えるとした。したがって、潮流や吹送流については考慮せず、それらが移動平均処理によっても除去しきれていない場合は、一般流あるいは慣性振動の流速の中に混在していることとなる。

抽出された慣性振動流に伴う緯度・経度変化から、慣性流の速さと半径を求めた。半径は、連続する3点の緯度・経度を、東西・南北方向の距離を座標軸とする平面座標に置き換えて求めたが、1時間ごとの緯度・経度から計算したものはばらつきが大きい。そこで、データ平滑化のためのフィルターを2種類使用した。ひとつは、連続する3個の値にかけたメディアン・フィルター(以後、 F_{MED3} と略記)である。もうひとつは、やはり連続する3個の値に1:2:1の重みをかけて平均する方法で、以後 F_{121} と表す。半径の計算では、まず4時間ごとの緯度・経度を抽出し、連続3個の値から半径を求め、これに F_{MED3} を1回、 F_{121} を3回かけた。慣性流の速さは、1時間ごとの緯度・経度から計算した値に、同様に F_{MED3} を1回、 F_{121} を3回かけた。

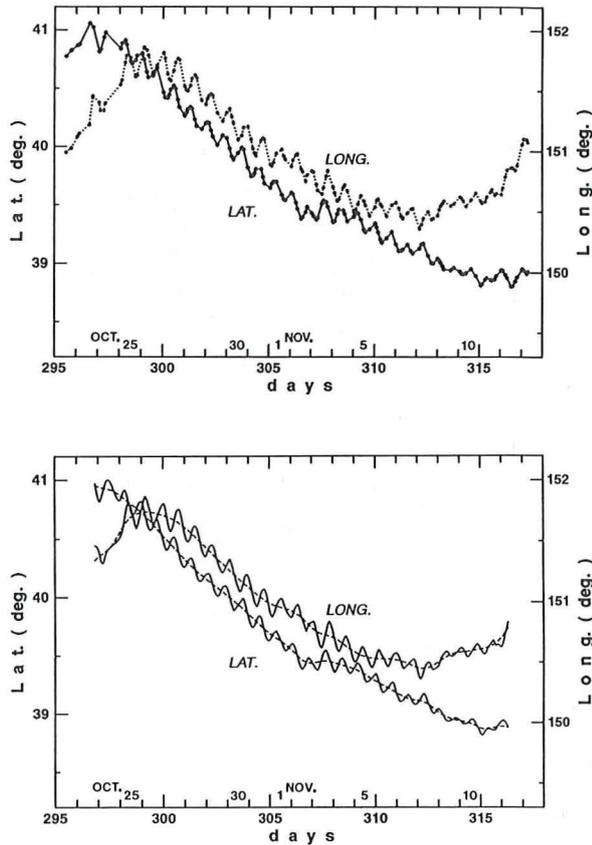


Fig. 2 Upper : Time change of latitude (solid line) and longitude (dotted line). Lower : Same as upper panel except for one-hour interpolated value (solid) and running averaged value (dashed) shown in Fig. 1 c.

3. 結果

Fig. 3 の実線は、前節で述べた方法で求めた慣性振動成分の速さの時系列を示す。図中の破線は、移動平均をほどこした1時間ごとの緯度・経度から計算した一般流の速さであり、 F_{121} を3回かけてある。慣性流の速さの、図に示した期間(10月25日~11月11日)での平均と標準偏差はそれぞれ、63.3cm/sec, 18.5cm/secであり、一般流のそれは18.6cm/sec, 7.4cm/secである。時間変化の小さい一般流に比べて、慣性流の速さは初期には90cm/sec以上に達し、徐々に減少していくものの、最小でも20cm/secである。また、4日程度の間隔で速さが増減しており、その差(振幅)は30cm/sec程度である。

慣性円の半径を見積もった結果を Fig. 4 に示

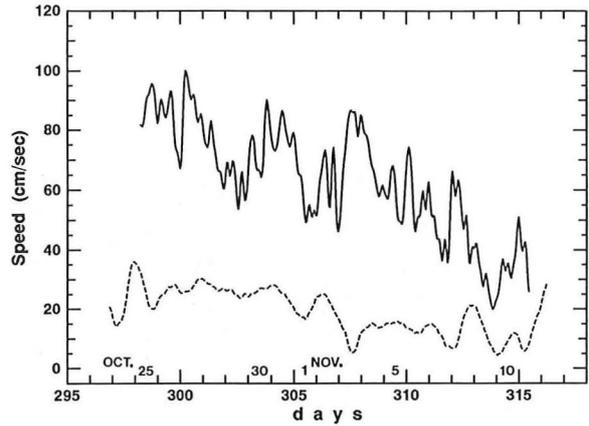


Fig. 3 Time change of speed of inertial flow (solid curve) and mean flow (dashed curve).

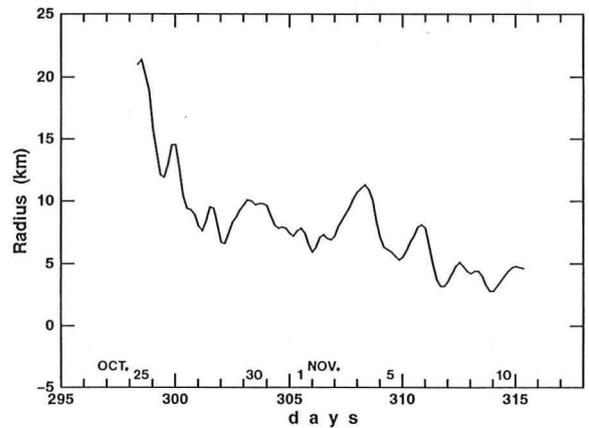


Fig. 4 Time change of radius of inertial circle.

す。Fig. 3 の速さの時間変化と同様に、初期の約20 kmから、徐々に減少していく。また、ときどき大きくなるが、その時期は速さの増加期と対応する傾向にある。半径を求めた時刻における速さを Fig. 3 から抜き出して、半径と速さの相関係数を求めると0.75であった(データ数は103対)。また、Fig. 4 に示した期間での半径の平均と標準偏差はそれぞれ、8.0km, 3.7kmである。ちなみに、緯度40度(慣性周期18.7時間)において半径8 kmの慣性円運動に伴う流速は75cm/secであるが、上記で求めた速さの平均値63cm/secとほぼ合っていると言える。

Fig. 5 に、抽出した慣性振動成分の軌跡を示す。左図は1時間ごとの位置を距離に変換してプロットしたものであり、これに F_{121} フィルターを3回かけた結果が右図である。円運動の様子が明瞭に描かれており、慣性振動が良く抽出されているこ

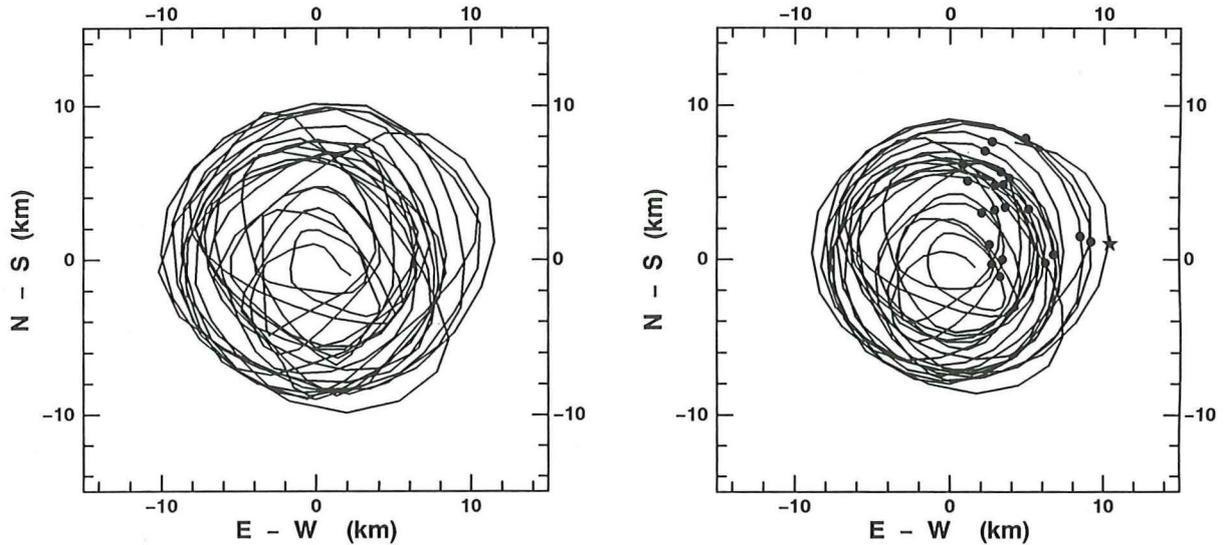


Fig. 5 Leftside : Plot of location for inertial flow at every one hour in the period from 25 October to 11 November 1981. Rightside : Same as leftside panel except for filtered value. Solid circles are plotted at every half-pendulum-day since the most eastward location marked with star.

と、また、漂流ブイが流れた海域に慣性振動流が存在していたことを強く示唆している。Fig. 5の右図には、最も東にある点（星印）から始めて、半振り日（慣性周期）ごとの位置を黒丸で示してある。これらの点は、中心（座標の原点）から延びる放射線上に分布するべきであるが、図では約90度の開きを持って分布している。始点（星印）から最後の黒丸点までの21周に要した時間は394.6時間で、1周あたりの平均時間は18.8時間となる。対象海域の慣性周期とほぼ一致する。

4. 考 察

海洋の慣性振動は、強い海上風が吹いた後に発生すると言われる。今回の場合、当時の地上天気図（気象：1982, 1983）を見ると、10月23日09時には、ブイが漂流していた地点に極めて近い 40°N 、 148°E に台風24号の中心（965mb）が在る。Fig. 1に示した一連のループ運動は、この台風に伴う強風により惹起されたと考えられる。その後は、10月30～31日と、11月4日、11月8日に温帯低気圧あるいはこれに伴う寒冷前線が当該海域を通過しており、海上風もこの頃に強くなっていたと推察できる。これらの時期は、Fig. 3, Fig. 4に示した慣性円運動の速さと半径が大きくなった時期とほ

ぼ一致する。このことから、間欠的に慣性振動が強化されていることが推察される。

Tomosada (1991)は、やはり三陸沖を漂流したアルゴスブイの軌跡から慣性振動を抽出し、4.7日間の流速が指数関数的に減衰すると仮定して、速度の半減期（e-folding time）が3日としている。Fig. 3の流速の時間変化で、初期の約90cm/secの半分になるのに最低でも5日を要している。一方、Fig. 4の半径の変化では、約3日で初期の約20kmの半分程度になっており、Tomosadaの結果と合致する。流速と半径のほぼ同期した時間変化と、海上風の強さの変化から、本稿で述べた約17日間にわたる一連の慣性周期運動は、10月23日に発生したものが徐々に減衰し続けたのではなく、間欠的な強風によってそのつど、新たな慣性振動が引き起こされたとするのが妥当と考える。Fig. 5の右図で、黒丸の分布に約90度の開きがあるのは、これらの間欠的強化のためであろう。

5. まとめ

1981年10月下旬から11月上旬にかけて、三陸東方沖を漂流していたアルゴス海面ブイが顕著な慣性周期運動を示した。この期間中、ブイは南西に向かう10～25cm/secの一般流に、45～80cm/secの

慣性振動（円運動）が重畳して、反時計廻りのトロコイド曲線状のループを描きつつ漂流した。円運動の平均的周期は約18.8時間と見積られ、ブイが漂流した海域の平均的緯度40°Nにおける慣性周期18.67時間とほぼ一致する。

慣性円の半径と円運動の速さは、それぞれ平均で8 km, 63cm/secであった。これらは、途中で一旦増加しながら、全体的には徐々に小さくなる。半径と速さの減少は、慣性振動の減衰過程を表すと考えられる。流速の減衰の半減期は、Tomosada (1991) が東北海区を漂流したブイから見積もった値に比べて長くなっているが、半径の半減期は同程度である。地上天気図から推察される海上風の強化時期が、流速と半径の増大期とほぼ対応することから、約17日間にわたって見られた慣性振動は、間欠的な強風によってそのつど発生したと考えられる。

参 考 文 献

- Ishii H., R.Saruwatari, Y.Ueno, S.Kuramoto and H.Nishida : Application of drifting buoys in ocean research, *Rep.Hydrogr. Res.*, 17, 347-365, (1982).
- 石井春雄・道田 豊：漂流ブイによる調査(4) 黒潮の開発利用の調査研究成果報告書（その8）, 130-141, (1985).
- JODC : Appendix to Oceanographic Data Management. 130pp. (1983).
- Michida Y. and H.Yoritaka : Survivability of the surface drifters deployed by Hydrographic Department of Japan for the period from 1988 to 1994, *J.Japan Soc. Mar. Surv. Tech.*, 7(2), 21-28, (1995)
- 道田 豊：漂流ブイによる亜熱帯反流の観測，水路部研究報告（with English in abstract and legends）, 33, 21-30, (1997).
- 日本気象協会：「気象」（気象庁監修），'81-12（No.296），'82-1（No.297）.
- Tomosada, A. : Decay of inertial oscillation observed by Argos drifting buoy, *Bull. Hokkaido Natl. Fish. Res. Inst.*, 55, 115-124, (1991).
- 友定 彰：東北海域の乱流拡散係数と緩和時間について—アルゴスブイの軌跡からの試算—, 東北水研研報（英文要旨）, 54, 1-10, (1992).