

特集 2 「海洋気象業務に関する最新の技術的動向 II」

イリジウム通信型中層フロートを用いた 台風接近・通過時における実海域観測実験

上原 共博 *1・谷 政信 *1・藤村 昌彦 *2

要 旨

海洋気象課では、台風予報の将来的な精度向上に資することを旨とした業務実験として、双方向通信による観測設定の変更が可能なイリジウム通信型中層フロートを用いた実海域観測を実施した。気象庁海洋気象観測船「啓風丸」により投入した 3 台のイリジウム通信型中層フロートは、2011 年から 2013 年のそれぞれの夏季、海面付近から 500dbar までの海洋表層を毎日観測し、複数の台風に対してその接近・通過に伴う海水温及び塩分の急激な変動を捉えた。本観測実験により、イリジウム通信型中層フロートは台風の接近・通過時における海洋表層の変動を捉えるのに十分な性能を持つ測器であることが示された。

1. はじめに

中層フロートとは、海面付近から深さ約 2,000m までの間を自動的に浮き沈みしながら海水温及び塩分を観測し、そのデータを衛星経由で通報する観測機器である。中層フロートは 2000 年に開始された「アルゴ計画」(佐伯, 2001) の下で全世界の海洋に展開され、2007 年 11 月にはその運用台数が 3,000 台に到達した(須賀, 2010)。中層フロートによる全球的な海洋観測網が構築されたことによって、全世界の海洋における海水温及び塩分の均質なデータを準リアルタイムで入手することが可能になった。

中層フロートに関わる近年の技術革新の一つに、データ通信にイリジウム通信を用いることによって運用者との双方向通信を実現したフロート(以下「イリジウムフロート」という)の実用化が挙げられる。データ通信にアルゴス通信を用いる従来の中層フロート(以下「従来型フロート」という)の場合、運用者は漂流深度や観測周期と

いったパラメータの組合せ(以下「観測設定」という)をフロートの投入前にあらかじめ設定しておく必要がある、フロートの投入後にはこれらを変更することができない。一方、イリジウムフロートの場合、運用者は陸上からの双方向通信でフロートに指令を与えることによって、フロートの投入後であってもこれらを適宜変更することができる。イリジウムフロートは 2006 年頃から海洋研究開発機構(JAMSTEC)等を中心に試験的な運用が開始され、現在では世界各国の機関で運用されている。

台風は、その強風により海水の混合や湧昇を引き起こし、近傍の海面水温を低下させる(Price, 1981)。一方、この海面水温の低下は、海面から大気への潜熱・顕熱フラックスを減少させ、台風の発達を抑制する(Schade and Emanuel, 1999)。また、この海面水温の低下は、台風の移動速度や風速のほか、海水温の鉛直分布等にも密接に関係している(Wada, 2002)。すなわち、海水温の鉛

*1 地球環境・海洋部海洋気象課 *2 東京管区気象台

直分布は台風の接近・通過に伴う海面水温の低下に影響を与え、この影響を通じて台風の発達にも影響を与える。したがって、台風予報の将来的な精度向上を図るためには、台風の接近・通過時における海洋表層の変動を詳細に観測し、この変動と海面水温低下との関係を理解することが重要である。その中で得られた知見は、台風の接近・通過時における海面水温の実況解析手法やその予報手法の改善に寄与し、さらにはこうした改善を通じて台風予報の精度向上にも寄与することが期待される。

台風の接近・通過時における海洋表層の変動を観測するにあたって、イリジウムフロートを活用することは有効な手段の一つとなり得る。Baranowski *et al.* (2011) は、フィリピンの東において1日ごとの観測を実施していた従来型フロート (WMO 番号: 5901579) の近傍を2個の台風が続けて通過した事例を解析し、台風の接近・通過に伴う海洋表層の急激な変動が中層フロートによって捉えられたことを報告した。また、この急激な変動を捉えるには少なくとも1日ごとの観測頻度が必要であることも併せて報告した。この観測頻度を満たした観測を中層フロートによって長期間にわたって実施するには、双方向通信による観測設定の変更が可能なイリジウムフロートを活用し、台風時期とその他の時期とで異なる観測設定を適用することが有効であると考えられる。

こうした背景を踏まえ、気象庁地球環境・海洋部海洋気象課では、台風予報の将来的な精度向上に資することを旨とした業務実験として、3台のイリジウムフロートを用いた実海域観測を実施した。本観測実験は、イリジウムフロートによって台風時期の海洋表層を高頻度に観測し、台風の接近・通過時における海洋表層の変動を捉えることが可能であるか検証するとともに、荒天時における通信状態や海洋表層を高頻度に観測することに伴うセンサーへの影響といった、将来的にイリジウムフロートを現業運用する場合に問題となり得る点について検討するものである。なお、台風近傍における海洋表層の観測を主目的にイリジウムフロートを運用した取組はこれまでほとんど例がなく、特に現業的な運用を目指したものは皆無

であると考えられる。

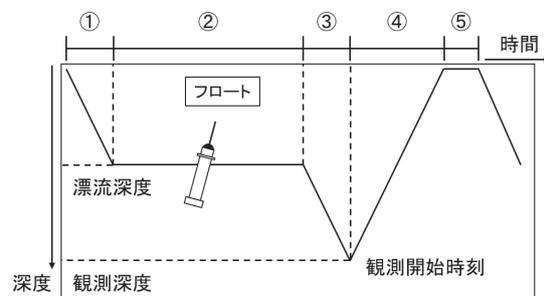
本報告では、第2章でイリジウムフロートの概要及び特長について、第3章で本観測実験の概要について、第4章で主な観測事例について、第5章でイリジウムフロートを現業的に運用する場合の問題点の検討及びその結果について述べる。

2. イリジウムフロート

中層フロートのデータ通信には、これまでアルゴス通信 (仏国 CLS 社) が一般的に用いられてきた (中島ほか, 2001)。一方、イリジウムフロートのデータ通信には、高度 780km に配置された 66 機のイリジウム衛星によるイリジウム通信 (米国 Iridium Communications 社) を用いる。イリジウム通信は主に衛星携帯電話等に利用されている通信システムである。この通信システムを中層フロートのデータ通信に導入した結果、イリジウムフロートは従来型フロートにはなかった以下の利点を持つようになった。

(1) 双方向通信機能

一般に、中層フロートは第1図に示すサイクルで観測を行う。イリジウムフロートでは、このサイクルを特徴づける各種のパラメータを双方向通信によって遠隔制御することができる。この機能を活用することにより、イリジウムフロートの運用者は観測目的に応じて多様な運用を行うことが可能である。本観測実験で使用したイリジウムフロート (米国 Teledyne Webb Research 社製, APEX) の場合、双方向通信によって変更可能なパラメータの数は 20 以上に及ぶ (第1表に主なパラメータを示す)。



第1図 中層フロートの観測サイクル

中層フロートの観測サイクルは、①漂流深度への沈降、②漂流、③観測深度への沈降、④鉛直プロファイルの観測、⑤海面でのデータ通信からなる。

(2) 通信速度の向上

イリジウムフロートは従来型フロートに比べて非常に高速なデータ通信を行う。その結果、データ通信のために海面に滞在する時間が、従来の数時間から数分に短縮された(第2表)。この海面滞在時間の短さは、データ通信時に消費する電力の節約、海面におけるフロートの漂流の抑制といった効果をもたらす。また、一度に送信できるデータ量が増大したことによって、海水温の鉛直プロファイルを高分解能で観測することも可能になった。この特長に関連して、本観測実験で使用したイリジウムフロートには電気伝導度水温水深計(以下「CTD」という)としてSBE 41CP(米国Sea-Bird Electronics社製)が搭載されている。このCTDでは、あらかじめ定められた観測層における計測に加え、任意の深度以浅において高分解能(2dbar間隔)の連続計測を行うことが可能である。

このように、イリジウムフロートは従来型フロートにはなかった多数の利点を持つ。これらの利点のためにイリジウムフロートの稼働台数は年々増加している。2014年5月現在、全球で稼働する約3,600台中層フロートのうち、30%あまりをイリジウムフロートが占めている¹。

イリジウムフロートにおけるデータの流れを第2図に示す²。海面に浮上したフロートから送信

された観測データは、イリジウム衛星通信網及び米国にあるイリジウム地球局を経由した後、電話回線を通じて、運用者が用意したデータ送受信サーバに配信される。運用者はこのサーバにアクセスすることによって観測データを取得する。また、観測設定を変更する場合、運用者はその設定を記述したファイルをサーバに転送する。イリジウム

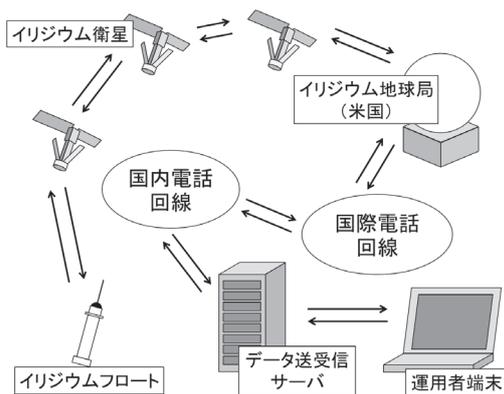
第1表 双方向通信によって変更可能なパラメータの例 Swift (2010) をもとに作成。

パラメータ	設定可能範囲	第1図との対応
漂流深度 (dbar)	0 ~ 2,000	
観測深度 (dbar)	0 ~ 2,000	
海面から漂流深度に至るまでの時間 (分)	1 ~ 480	①
漂流深度から観測深度に至るまでの時間の上限 (分)	0 ~ 480	③
沈降開始から観測開始までの時間 (分)	1 ~ 43,200	①+②+③
観測深度から海面に至るまでの時間の上限 (分)	1 ~ 600	④
観測開始から沈降開始までの時間 (分)	1 ~ 1,440	④+⑤
観測開始時刻 (分, 00UTCからの経過時間)	0 ~ 1,439	

第2表 通信速度及び海面滞在時間の比較

海面付近から2,000dbarまでの海水温及び塩分を観測する場合の例。数値はApex Users Group (2005)、中島ほか(2001)及びTeledyne Webb Research (2011)による。

項目	フロート	
	イリジウム	従来型
観測条件	観測層間隔(dbar)	10~100 (浅層ほど密に観測)
	観測層数	約70
データ量 (KB)	50	1未満
通信速度 (Bps)	180	1未満
海面滞在時間	6分	9時間



第2図 イリジウムフロートにおけるデータの流れ (ダイヤルアップ方式の場合)

¹ 中層フロートの全球分布図はArgo Information Centre ウェブサイトで公開されている (<http://argo.jcommops.org/maps.html>, 2015年4月20日参照)。

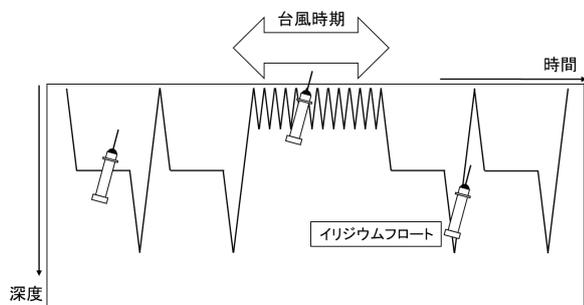
² イリジウムフロートのデータ送受信方法には、①ダイヤルアップ方式、②ショートバースト方式、③RUDICS方式がある。この報告では本観測実験に使用した①についてのみ記述する。

フロートはデータ通信時にそのファイルの情報を取得し、次回浮上時から新たな観測設定を適用する。

3. 観測実験の概要

3.1 イリジウムフロートの観測設定

本観測実験で適用したイリジウムフロートの観測設定について、その概念図を第3図に、詳細を第3表にそれぞれ示す。先に述べたように、台風の接近・通過時における海洋表層の変動を中層フロートによって捉えるには少なくとも1日ごとの高い観測頻度が必要である。このことを踏まえ、本観測実験では、台風時期（7～10月頃）には海面付近から500dbarまでの海洋表層を2dbar間隔の高分解能で1日ごとに観測する。一方、その他の時期には海面付近から2,000dbarまでを5～10日ごとに観測する。このように、台風時期とその他の時期とで異なる観測設定を適用することによって、台風時期には台風の接近・通過に伴う海洋表層の変動の捕捉を目指し、その他の時期にはフロートが消費する電力の節約及び海面におけるフロートの漂流の抑制を図る。以下、前者を台



第3図 イリジウムフロートの観測設定概念図

第3表 イリジウムフロートの観測設定詳細

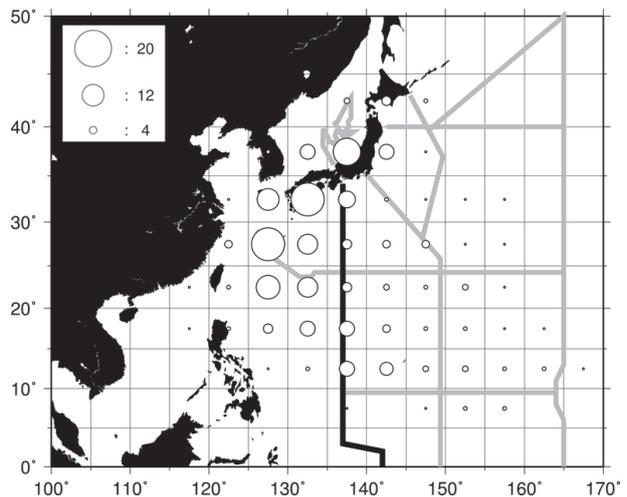
項目	台風時期 (台風設定)	その他の時期 (通常設定)
観測周期 (日)	1	5～10 (状況により適宜変更)
漂流深度 (dbar)	500	1,000
観測深度 (dbar)	500	2,000
観測層間隔 (dbar)	2	10～100 (浅層ほど密に観測)
観測層数	約250	約70

風設定、後者を通常設定と呼ぶ。

3.2 イリジウムフロートの投入

本観測実験では、気象庁で定期的実施している海洋気象観測航海においてイリジウムフロートを投入することを想定した。そこで、日本に上陸・通過（島しょ部及び半島については通過）した過去の台風を気象庁ベストトラックデータから抽出し、これらの台風の海域ごとの通過頻度と気象庁の海洋気象観測定線との位置関係を調べた（第4図）。その結果によると、日本に上陸・通過する台風は、北緯10度から30度、東経125度から140度の海域を通過する頻度が高い。また、この海域にフロートを投入した場合、フロートは北赤道海流等の影響を受けて次第に西北西から北西に漂流していくことが予想される（岡, 2001）。したがって、本観測実験のフロートの投入点としてはこの海域の東側が適切であると考えられる。

これらを踏まえ、2011年6月、気象庁海洋気象観測船「啓風丸」11-07次航海において、3台のイリジウムフロート（WMO番号：2901670、5901988及び5901989）を東経137度線に沿った北緯24度、22度及び20度の各点に投入した。



第4図 日本に上陸・通過した台風の通過頻度分布（個）と海洋気象観測定線の位置関係

統計期間は1990～2009年。○の大きさは緯度・経度5度ごとに集計した台風の通過個数に対応する。ただし、台風の位置は00, 06, 12及び18UTCにおけるもののみを使用した。また、太実線は気象庁の主な海洋気象観測定線（黒線は東経137度線）を表す。

第4表にそれぞれのフロートのWMO番号と投入日及び投入位置との対応を示す。以下、これらのフロートを第4表の表記に合わせてフロートA、B及びCという。

4. 主な観測事例

4.1 使用したデータ及び用語の定義

以下では、イリジウムフロートによる観測データのほか、台風データとして気象庁アジア太平洋気象防災センターが作成した気象庁ベストトラックデータを、降水データとして熱帯降雨観測衛星 (TRMM) /TRMM マイクロ波観測装置 (TMI) による3日間平均降雨強度データを使用する³。

また、用語を以下のように定義する。

(1) 接近

台風が中心が、いずれかのフロートを中心とする半径300km以内の領域に入ることを、台風のイリジウムフロートへの接近と定義する。

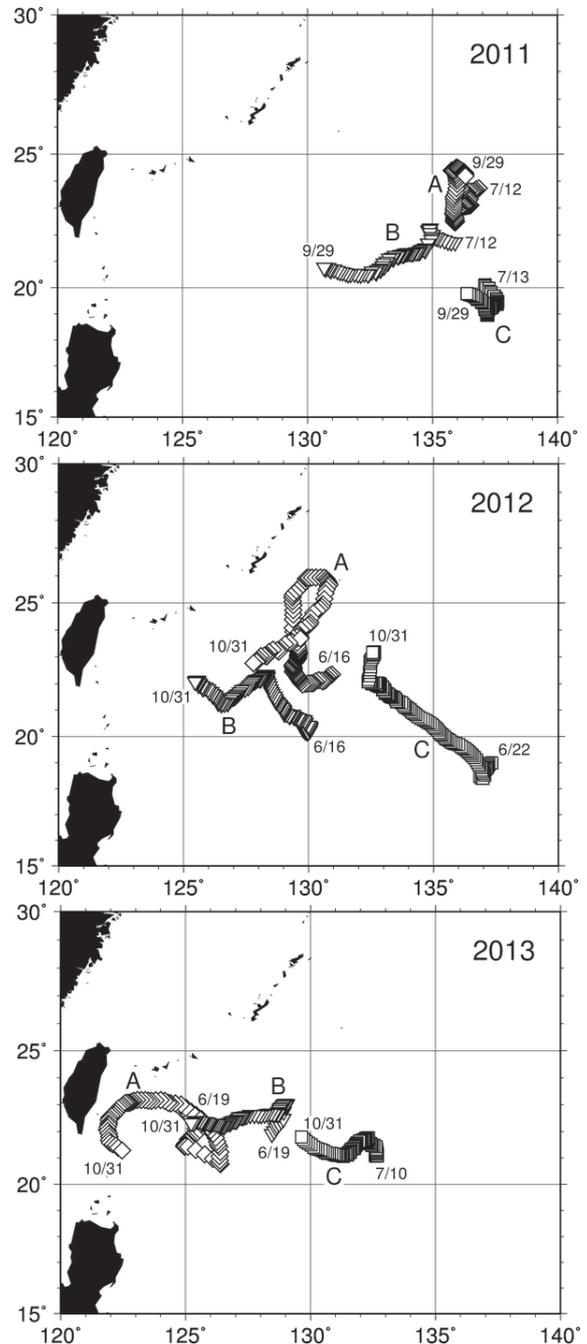
(2) 海洋混合層

海面付近とのポテンシャル密度 (σ_θ) の差が 0.125kg/m^3 となる深度を海洋混合層深度とし、海面からこの深度に至るまでの層を海洋混合層と定義する (Monterey and Levitus, 1997)。ここでは、イリジウムフロートによる最も浅い観測層 (約4dbar) を海面付近とする。

4.2 観測事例

本観測実験では、2011年から2013年のそれぞれの台風時期、台風設定による観測を実施した (第5図)。本観測実験の期間中、いずれの年も複数の台風がイリジウムフロートに接近し、このうち

のいくつかは日本に上陸 (島しょ部及び半島については通過) した (第5表)。以下では、これらの台風の中から、海水温、塩分及び海洋混合層深



第5図 台風時期におけるイリジウムフロートの軌跡
上段は2011年,中段は2012年,下段は2013年。◇, ▽及び□はそれぞれフロートA, B及びCの浮上ごとの位置を表す。また、日付は台風設定による観測の開始日及び終了日に対応する。

第4表 イリジウムフロートのWMO番号と投入日及び投入位置との対応

フロート	WMO番号	投入日	投入位置
A	2901670	2011/6/22 0311UTC	24.019N 137.000E
B	5901988	2011/6/22 1936UTC	22.003N 136.992E
C	5901989	2011/6/23 0743UTC	20.018N 137.000E

³ TRMM/TMIによる観測データは米国 Remote Sensing Systems 社ウェブサイトから提供されている (<http://www.remss.com/missions/tmi>, 2015年4月20日参照)。データの詳細については同サイトを参照されたい。

度に特徴的な変動が見られた2011年台風第6号、2012年台風第15号及び2012年台風第21号の事例を示す。

4.2.1 2011年台風第6号

2011年7月12日00UTCに発生した台風第6号(T1106)は同月16日から17日にかけてイリジウムフロートが漂流する海域を北西進した。特に、同台風は17日00UTC頃には最低気圧である

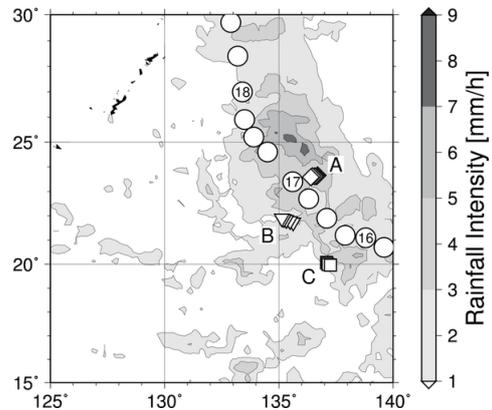
第5表 台風設定時にイリジウムフロートに接近した台風の一覧

「*」は日本に上陸(島しょ部及び半島については通過)した台風であることを表す。ただし、2012年台風第4号についてはフロートCに台風設定を適用しなかったため、台風中心から同フロートまでの最短距離を「-」とした。

年	台風番号	台風中心からフロートまでの最短距離(km)とフロートへの最接近日(UTC)		
		A	B	C
2011	T1106 *	100 (07/17)	130 (07/16)	150 (07/16)
	T1109 *	230 (08/02)	60 (08/01)	350 (08/01)
	T1114	90 (09/07)	210 (09/06)	280 (09/06)
	T1115 *	90 (09/14)	350 (09/11)	130 (09/11)
	T1119	580 (09/28)	340 (09/29)	70 (09/28)
	2012	T1204 *	340 (06/18)	290 (06/17)
T1214		430 (08/17)	290 (08/17)	960 (08/18)
T1215 *		120 (08/25)	340 (08/25)	50 (08/23)
T1216 *		230 (09/15)	150 (09/15)	380 (09/14)
T1217 *		310 (09/29)	270 (09/27)	710 (09/29)
T1221		80 (10/17)	270 (10/16)	120 (10/14)
2013		T1307	160 (07/12)	90 (07/11)
	T1323	290 (10/06)	250 (10/04)	170 (10/03)
	T1324 *	710 (10/07)	490 (10/07)	280 (10/06)
	T1327	870 (10/24)	510 (10/23)	300 (10/23)

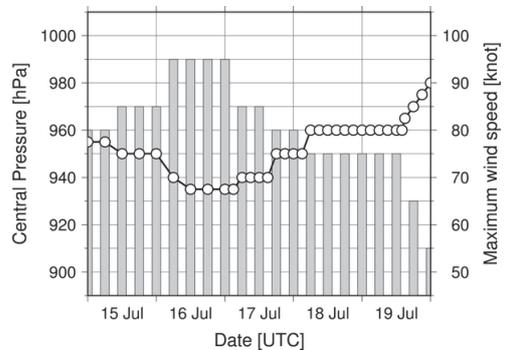
935hPaを維持しフロートAから約100kmの地点を通過した(第6図及び第7図)。

台風第6号の接近前後にイリジウムフロートが観測したポテンシャル水温(以下「水温」という)及び塩分の時系列を第8図に示す。台風の接近に伴い、海洋混合層の水温は全てのフロートの地点で低下した。特に、台風通過前の海洋混合層が最も薄く、海面付近から50dbarにかけての水温の鉛直勾配が最も大きかったフロートAの地点では5°Cを超える顕著な低下がみられた。一方、



第6図 2011年台風第6号とイリジウムフロートの位置関係

◇, ▽及び□は7月15～19日におけるフロートA, B及びCの浮上ごとの位置, ○は気象庁ベストトラックデータによる台風第6号の6時間ごと(00, 06, 12及び18UTC)の中心位置をそれぞれ表す。特に00UTCに対応するものには日付を付記した。また、陰影は熱帯降雨観測衛星(TRMM)/TRMMマイクロ波観測装置(TMI)により観測された同月16～18日の3日間平均降雨強度を表す。



第7図 2011年台風第6号の中心気圧及び最大風速の時系列

○は台風第6号の中心気圧, 棒の高さは同台風の最大風速をそれぞれ表す。

海洋混合層の塩分は地点によってその変動が異なり、海洋混合層以深に高塩分層がみられたフロート B 及び C の地点では上昇したのに対し、海洋混合層とその下層の塩分の差が小さかったフロート A の地点では低下した。また、台風を中心からの距離が 150km 未満であったフロート A 及び B の地点では海洋混合層の深まりがみられ、その深度は約 50 ~ 60dbar に達した。

4.2.2 2012 年台風第 15 号

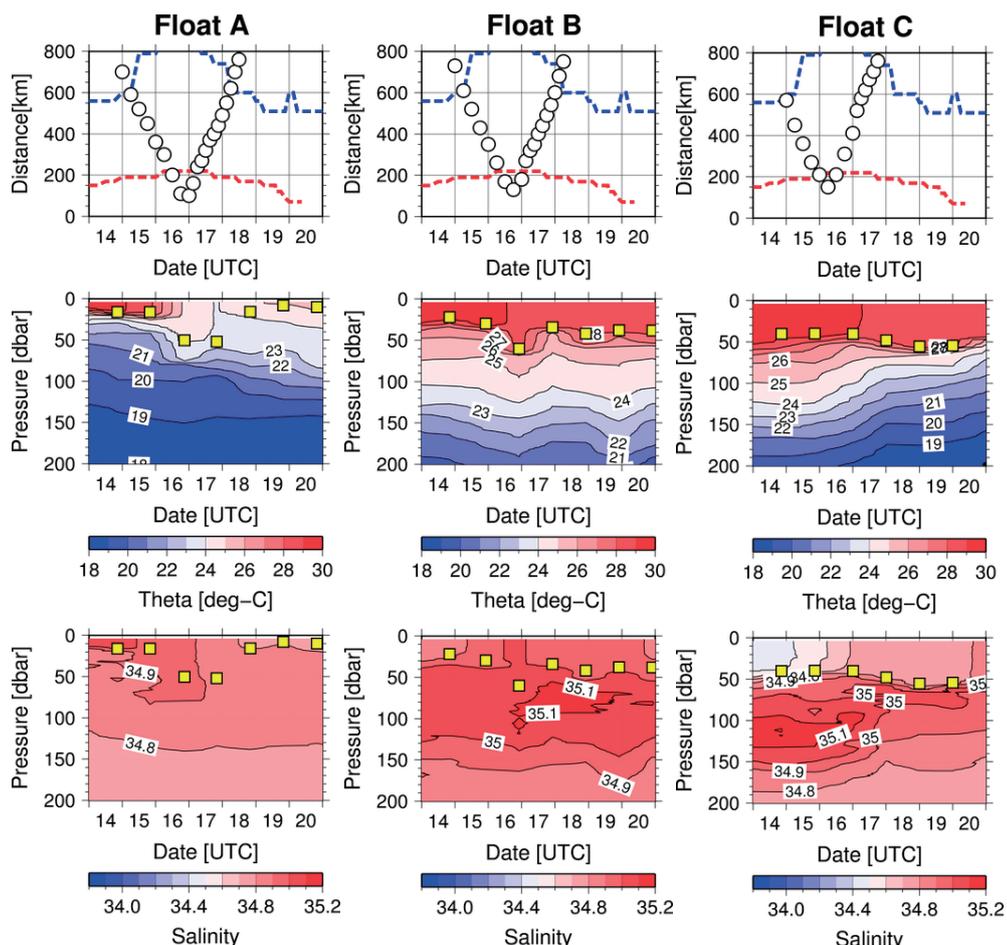
2012 年 8 月 20 日 06UTC に発生した台風第 15 号 (T1215) は同月 23 日から 26 日にかけてイリジウムフロートが漂流する海域を北西進した。特に、同台風はフロート C の近傍を通過した後急速に発達し、中心気圧 920hPa でフロート A に最接近した。また、フロート A の近傍で強雨を伴

った (第 9 図及び第 10 図)。

台風第 15 号の接近前後にイリジウムフロートが観測した水温及び塩分の時系列を第 11 図に示す。全期間を通じて台風の暴風域以遠に位置していたフロート B の地点では水温及び塩分の変動が比較的小さかった。一方、台風を中心からの距離が 150km 未満であったフロート A 及び C の地点では台風の接近に伴う海洋混合層の水温低下が見られたほか、台風の最接近以降には海洋混合層以深において水温及び塩分の等値線の深度がともに浅くなる状況が見られた。また、風雨が最も激しかったと見られるフロート A の地点では海洋混合層の塩分が台風接近時に一時的に上昇し、その直後に低下した。

4.2.3 2012 年台風第 21 号

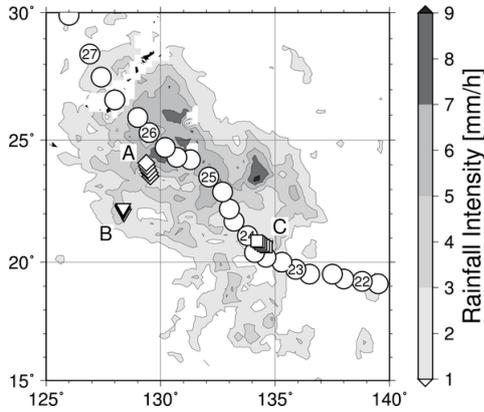
2012 年 10 月 7 日 12UTC に発生した台風第 21



第 8 図 2011 年台風第 6 号の通過前後にイリジウムフロートが観測したポテンシャル水温及び塩分の時系列

上段は台風を中心からフロートまでの距離 (km)、中段はポテンシャル水温 (°C)、下段は塩分。ただし、上段の青破線及び赤破線は台風の強風半径及び暴風半径 (km)、中段及び下段の□は海洋混合層深度に対応する。

号 (T1221) は同月 13 日から 17 日にかけてイリジウムフロートが漂流する海域に滞在した. 特に,

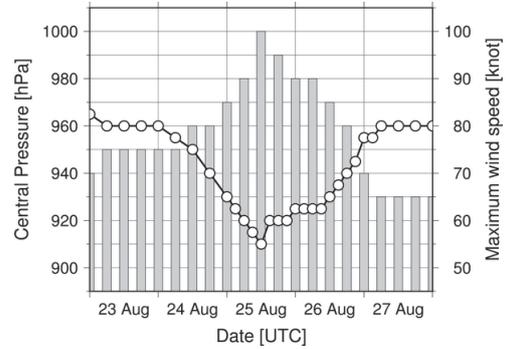


第 9 図 2012 年台風第 15 号とイリジウムフロートの位置関係

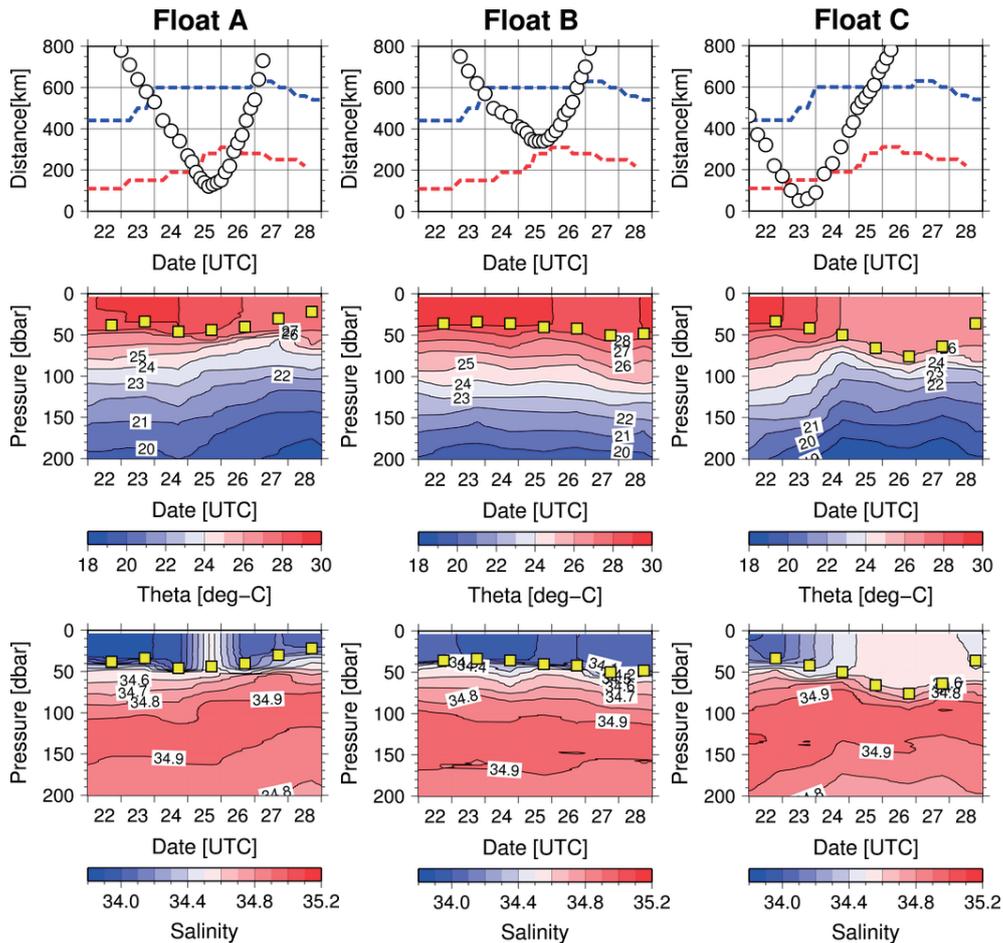
記法は第 6 図と同様. ただし, フロートの浮上ごとの位置は 8 月 23 ~ 27 日のもの, 降雨強度は同月 24 ~ 26 日の 3 日間平均値である.

同台風はフロート C の近傍に数日間滞在しながら徐々にその勢力を弱め, フロート A に最接近した際には中心気圧が 975hPa にまで上昇していた (第 12 図及び第 13 図).

台風通過前後にイリジウムフロートが観測した



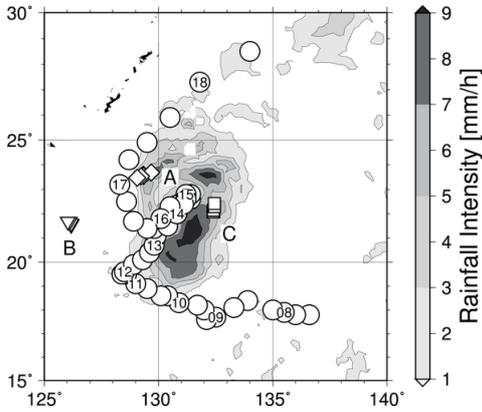
第 10 図 2012 年台風第 15 号における中心気圧及び最大風速の時系列
記法は第 7 図と同様.



第 11 図 2012 年台風第 15 号の通過前後にイリジウムフロートが観測したポテンシャル水温及び塩分の時系列
記法は第 8 図と同様.

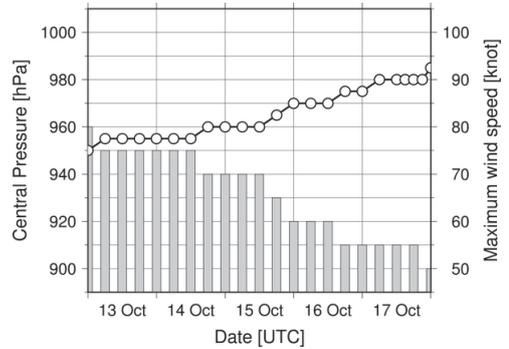
水温及び塩分の時系列を第14図に示す. 全期間を通じて台風の暴風域以遠に位置していたフロー

トBの地点では水温及び塩分の変動が比較的小さかった. 一方, 数日にわたって台風の暴風域内に位置していたフロートCの地点では台風接近前には約28°Cであった海洋混合層の水温が約25°Cにまで低下するとともに, 50dbar程度であった

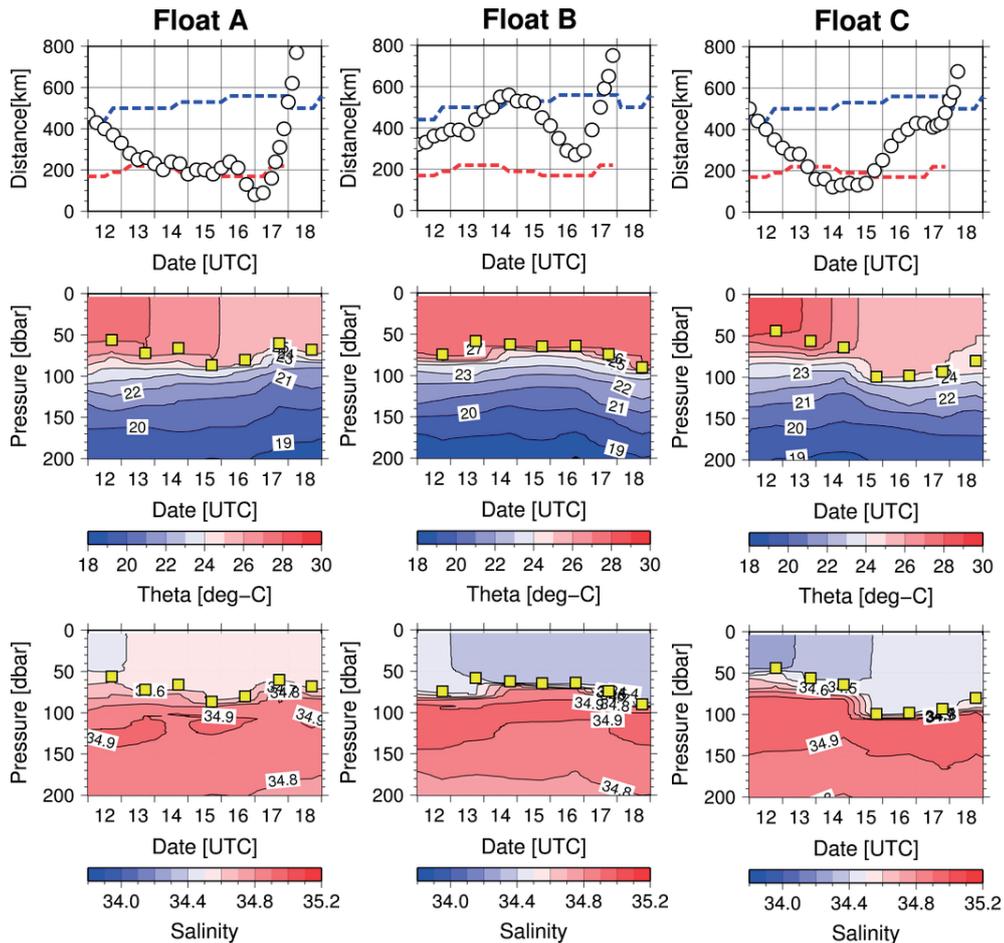


第12図 2012年台風第21号とイリジウムフロートの位置関係

記法は第6図と同様. ただし, フロートの浮上ごとの位置は10月13~17日のもの, 降雨強度は同月14~16日の3日間平均値である.



第13図 2012年台風第21号における中心気圧及び最大風速の時系列
記法は第7図と同様.



第14図 2012年台風第21号の通過前後にイリジウムフロートが観測したポテンシャル水温及び塩分の時系列
記法は第8図と同様.

海洋混合層深度が約 100dbar にまで発達した。また、台風を中心が最も接近した一方で台風の勢力が最も衰えていたフロート A の地点では海洋混合層の水温が徐々に低下したものの、海洋混合層深度には大きな変動がみられなかった。

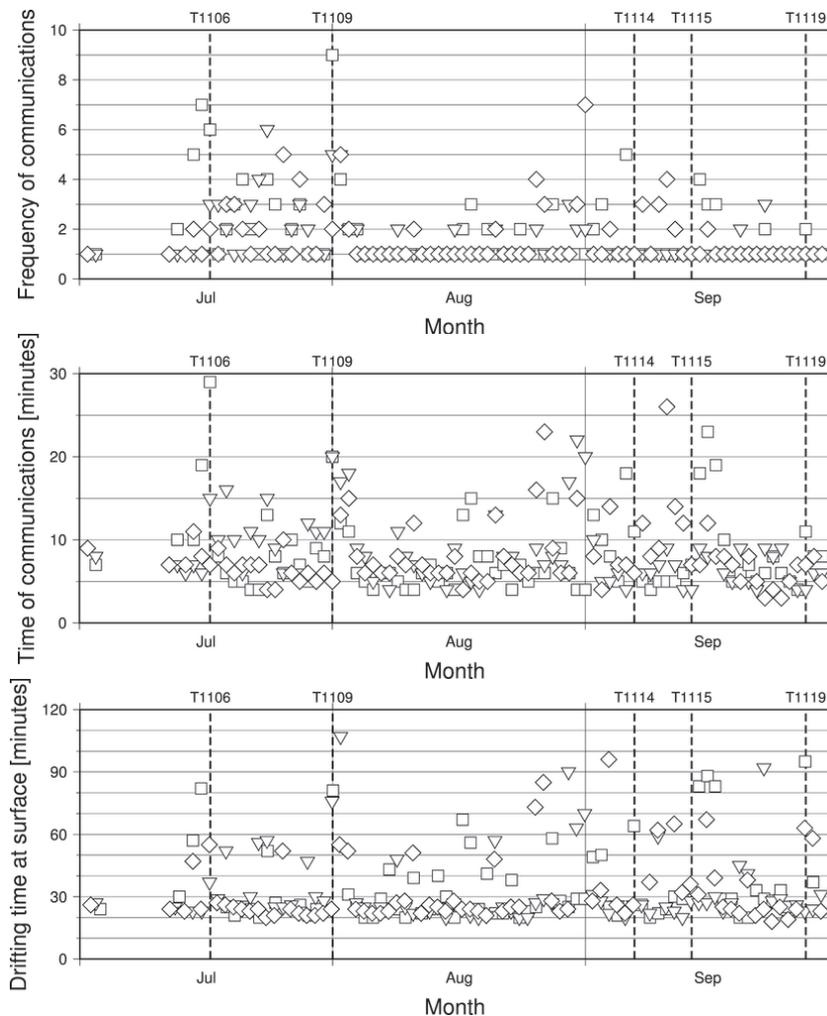
5. 運用上の問題点の検討

5.1 荒天時における通信状態

イリジウムフロートはその海面滞在中、データ通信を短時間で確実にを行うため、自身の姿勢を垂直に保つ必要がある(平野ほか, 2007)。このため、台風等の荒天時には強風及び高波によりフロートの姿勢維持が困難となり、その結果として通信状態が平常時よりも悪化する可能性がある。

通信状態の悪化は通信の切断や通信時間の延長を引き起こす。また、これらに対応して、データ通信のためにフロートが海面に滞在する時間が延長されることも想定される。そこで、データ送受信サーバへの接続回数、海面での通信時間及び海面滞在時間と台風の接近との対応を調べた(第 15 図)。

その結果によると、これらはいずれも台風の接近に対応して増大する傾向がみられた。すなわち、荒天時には通信状態が悪化している可能性が高い。しかしながら、海面滞在時間としてはおおむね 30 ~ 60 分(最大で約 110 分)の範囲に収まっていた。これは従来型フロートの場合(例えば平野ほか(2007)の報告では 7.5 時間)と比較す



第 15 図 データ送受信サーバへの接続回数、海面での通信時間及び海面滞在時間の時系列(2011 年夏季)

上段は接続回数(回)、中段は通信時間(分)、下段は海面滞在時間(分)。◇、▽及び□はフロート A、B 及び C にそれぞれ対応する。また、数字及び破線はイリジウムフロートに接近した台風の番号及びフロートへの最接近日に対応する。

れば十分に短い。したがって、荒天時における通信状態の悪化はイリジウムフロートの運用に深刻な影響を及ぼすものではないと考えられる。

5.2 海洋表層の高頻度な観測に対するCTDへの影響

フロートに搭載されたCTDが劣化する原因の一つとして、生物やごみ等のCTDへの付着が挙げられる。特に電気伝導度センサーは水温センサー及び圧力センサーよりもその影響を大きく受ける(Oka, 2004)。このため、電気伝導度センサーの測定精度に対するドリフトは他のセンサーよりも相対的に大きい(第6表)。

CTDへの生物等の付着は主に海面付近で起こる。このため、本観測実験のようにフロートを頻繁に海面に浮上させた場合には、CTD(特に電気伝導度センサー)が通常よりも早く劣化するおそ

れがある。一方、Oka(2004)でも指摘されているように、イリジウムフロートの利点の一つである海面滞在時間の短さはCTDの劣化を抑制することが期待される。そこで、Oka(2004)に倣い、イリジウムフロートによる観測データと船舶によるCTD観測データを比較することにより、海洋表層を高頻度で観測することに対するCTDへの影響の有無を評価した。

気象庁海洋気象観測船「凌風丸」及び「啓風丸」がそれぞれ2012年1月及び8月に実施した東経137度線のCTD観測データと、同時期にその付近を観測していたフロートCの観測データとの比較結果を第16図に示す。両者のプロファイルは $\sigma_\theta = 27.6 \text{ kg/m}^3$ 以深においてほぼ一致し、フロートCの観測データにドリフトはみられない。したがって、海洋表層を高頻度で観測することに対するCTDへの影響はほとんどないと考えられる。

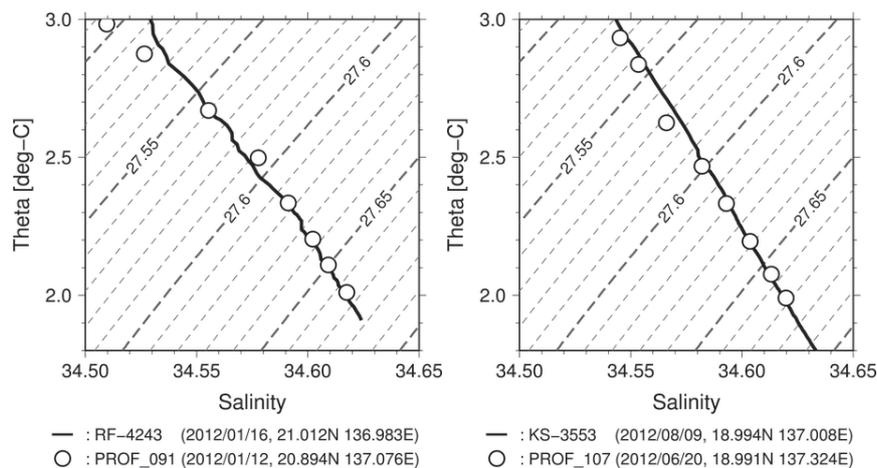
第6表 SBE 41CPの各センサーの測定精度及び安定性
米国 Sea-Bird Electronics 社ウェブサイト*をもとに作成。

	精度	安定性
水温	$\pm 0.002^\circ\text{C}$	$0.0002^\circ\text{C}/\text{年}$
電気伝導度	± 0.002 (塩分相当)	$0.001/\text{年}$ (塩分相当)
圧力	$\pm 2\text{dbar}$	$0.8\text{dbar}/\text{年}$

*<http://www.seabird.com/sbe41-argo-ctd>, 2015年4月20日参照。

5.3 運用期間及び漂流状況

本観測実験におけるイリジウムフロートの運用期間及び観測回数を第7表に、運用期間中のイリジウムフロートの軌跡を第17図にそれぞれ示す。本観測実験で使用した3台のイリジウムフロートは、2014年1月から4月にかけて、いずれもバッテリー切れにより順次運用を終了した。台風設



第16図 観測船のCTD観測データとの比較

破線は等ポテンシャル密度(σ_θ)線、実線は気象庁海洋気象観測船によるCTD観測データ(左:「凌風丸」(観測点番号RF-4243), 右:「啓風丸」(同KS-3553)), ○はフロートCによる観測データ(左:プロファイル番号091, 右:同107)をそれぞれ表す。

定による観測回数は全てのフロートで 250 回を超え、台風時期の観測を 3 期にわたって実施することができた。また、フロートは当初の想定どおりおおむね西方に漂流し、台風の通過頻度の高い海域（第 4 図参照）にほぼとどまった。

6. まとめ

本観測実験では、イリジウムフロートを用いた実海域観測によって、台風の接近・通過時における海洋表層の変動を複数の台風に対して詳細に捉えることができた。また、双方向通信機能を活用して、台風の発生及び発達が少ない時期にはフロートが消費する電力の節約及び海面における漂流の抑制を図った結果、台風時期の観測を 3 期にわたって実施することができた。さらに、イリジウムフロートは荒天時においてもほとんど問題なくデータ通信を行えることや海洋表層を高頻度で観測することに対する CTD への影響は無視できることを確認することができた。本観測実験により、イリジウムフロートは台風の接近・通過時にお

ける海洋表層の変動を捉えるのに十分な性能を持つ測器であることが示された。

本観測実験で得られたイリジウムフロートによる現場観測データは、台風の接近・通過時における海洋表層が極めて短時間に急激に変動すること、また、その変動が事例によって異なる特徴を持つことを示している。この急激な変動を捕捉することは、5～10 日ごとに観測を行う従来型フロートでは困難であり、本観測実験のように 1 日ごとの高頻度な観測を行うことによって初めて可能となった。このような現場観測データが充実することによって、台風の接近・通過時における海洋表層の変動及びその台風への影響に対する理解が進み、将来的には台風予報の精度向上にもつながることが期待される。

謝辞

本稿の執筆にあたり、イリジウムフロートの投入作業にあられた「啓風丸」11-07 次航海の乗組員・観測員の皆さま、多数のご助言をくださった気象研究所台風研究部の和田章義主任研究官、そして執筆作業を支えてくださった海洋気象課関係官の皆さまに深く感謝いたします。

参 考 文 献

Apex Users Group (2005) : REPORT FROM THE 1st ARGO TECHNICAL WORKSHOP. 28pp.

Baranowski, D. B., P. J. Flatau and S. P. Malinowski (2011) : Tropical cyclone turbulent mixing as observed by autonomous oceanic profilers with the high repetition rate. *Journal of Physics: Conference Series.*, 318, 072001.

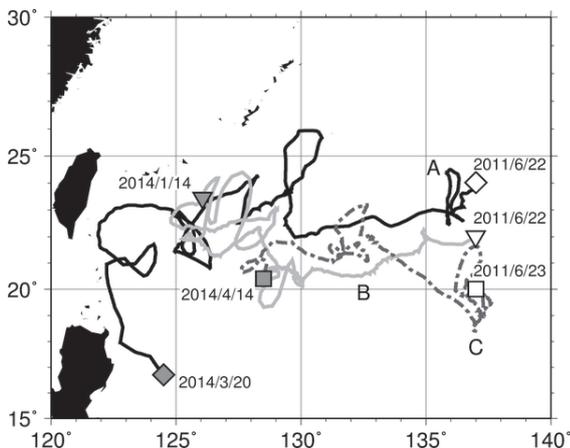
平野瑞恵・四竈信行・佐藤尚毅・中島宏幸・横田牧人・浅井聡子 (2007) : イリジウム衛星システムを利用したアルゴフロート. *みらいシンポジウム予稿集*, 10, 115.

Monterey, G. and S. Levitus (1997) : Seasonal Variability of Mixed Layer Depth for the World Ocean. NOAA Atlas NESDIS 14, 96pp.

中島宏幸・高槻靖・水野恵介・竹内謙介・四竈信行 (2001) : アルゴフロートの通信状態. *海洋科学技術センター試験研究報告*, 44, 153-161.

第 7 表 イリジウムフロートの運用期間及び観測回数

フロート	運用期間	観測回数	
		台風設定	通常設定
A	2011/6/22 - 2014/3/20	266	120
B	2011/6/22 - 2014/1/14	272	105
C	2011/6/23 - 2014/4/14	254	126



第 17 図 イリジウムフロートの軌跡
◇、▽及び□はフロート A, B 及び C の投入位置、◆、▼及び■は運用終了時の位置をそれぞれ表す。

- 岡英太郎 (2001) : ARGO フロートの投入シミュレーション. 海洋科学技術センター試験研究報告, **44**, 9-16.
- Oka, E. (2004) : Long-term Sensor Drift Found in Recovered Argo Profiling Floats. *J. Oceanogr.*, **61**, 775-781.
- Price, J. F. (1981) : Upper Ocean Response to a Hurricane. *J. Phys. Oceanogr.*, **11**, 153-175.
- 佐伯理郎 (2001) : Argo (アルゴ) 計画. 測候時報, **68**, 特別号, S149-S153.
- Schade, Lars R. and Kerry A. Emanuel (1999) : The Ocean's Effect on the Intensity of Tropical Cyclones: Results from a Simple Coupled Atmosphere-Ocean Model. *J. Atmos. Sci.*, **56**, 642-651.
- 須賀利雄 (2010) : Argo の成果と可能性. 天気, **57** (10), 762-767.
- Swift, D. (2010) : Iridium Apex Manual (Apf9i Firmware Revision: 042910). 41pp.
- Teledyne Webb Research (2011) : APEX PROFILER USER MANUAL. 47pp.
- Wada, A. (2002) : The Processes of SST Cooling by Typhoon Passage and Case Study of Typhoon Rex with a Mixed layer Ocean Model. *Pap. Met. Geophys.*, **52**, 31-66.