

## Argo 프로젝트: Argo 플로트 분포 예측

양찬수<sup>1,†</sup> · Akio Ishida<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국해양연구원 해양시스템안전연구소, <sup>2</sup>일본해양과학기술센터

## Argo Project: On the Distribution Prediction of Drifting Argo Floats

Chan-Su Yang<sup>1,†</sup> and Akio Ishida<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Ocean Research & Development Institute/Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KORDI/KRISO),  
Daejeon 305-343, Korea

<sup>2</sup>Japan Marine Science and Technology Center, 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka, Kanagawa 237-0061, Japan

### 요 약

2000년부터 시작된 ARGO(아르고) 국제 프로젝트는 수온 · 염분 · 유속을 관측하기 위해서 2006년까지 전 지구 해양에 3000대의 아르고 플로트를 투입하고, 중상층 해양을 실시간으로 감시하고자 하는 프로젝트이다. 2003년 12월 현재 18개국에서 투입한 1,023개의 플로트가 운용 중에 있다. 본 연구에서는 플로트가 작동을 멈추고 나서 표류하게 되는 경우에 대해서 일본해양과학기술센터의 해양대순환모델 유속장을 사용하여 분포예측 시뮬레이션을 수행했다. 먼저, 시뮬레이션의 타당성을 조사하기 위하여 모델에서 얻어진 해면 유속 데이터를 사용하여 입자 표류 시뮬레이션을 수행해 WOCE의 해면 표류 부이의 데이터베이스와 비교한 결과를 평가하였다. 그 결과, 모델은 전체적으로 해면 부이의 움직임을 잘 나타내며, 북태평양 전체에서 연안 표착율도 재현하고 있는 점으로부터 사용한 모델은 플로트의 전개 및 추적에 유용한 방법이라는 것을 알았다. 이에 따라, 플로트 투입 후 4년간은 해면과 심도 2000 m와의 사이를 10일간 주기로 반복하고, 그 이후에는 플로트의 수명이 해면에서 종료한다는 가정 하에 북태평양에 있어서 653개(위경도 3도 간격으로 1개)의 입자에 대해 100년간 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과, 약 29%의 플로트가 해안에 표착할 것이라는 결과가 얻어졌다.

**Abstract** – An international project, known as Argo, for collecting data on temperature, salinity and velocity of currents in the world's oceans, has been started in the year 2000 and the full Argo array of approximately 3000 floats will be deployed by 2006. 18 countries deployed 1,023 floats, which are operating in the ocean of the world as of December 2003. In the present study, we tried to predict float distribution and a rate of drifting ashore of the floats after their termination based upon a product of the ocean general circulation model of JAMSTEC (Japan Marine Science and Technology Center). We first evaluated reliability of the model product quantitatively by comparing trajectories of surface buoys of WOCE Surface Velocity Program (SVP) and those predicted by the model surface current field. It is found that the model is acceptable for practical application to deploy floats and to estimate those trajectories. 653 particles at 3-degree spacing are used to investigate the ratio of floats drifted ashore, given that during the first 4 years floats cycle between the surface and 2000m for 10 days and then floats are on just the surface for 100 years. The simulation indicates that about 29% of deployed floats will be drifted ashore within 100-year.

**Keywords:** Argo float(아르고 플로트), Float termination(플로트 수명 종료), Simulation evaluation(시뮬레이션 평가)

<sup>†</sup>Corresponding author: yangcs@kriso.re.kr

## 1. 서 론

현재 지구전체의 해양변동을 실시간으로 관측하기 위한 전례가 없는 대규모 프로젝트가 주목받고 있다. 이 계획은 “아르고 프로젝트(Argo Project)”라고 불리는 것으로 2000년에 시작된 국제프로젝트이다[Roemmich & Owens(2000), Guinehut *et al.*(2002)]. 이 『Argo 프로젝트』는 전 세계 해양에 자동 프로파일링 플로트(autonomous profiling float) 약 3,000개를 투입(약 300 km 평균 간격 - 위 · 경도로 약 3도마다 1대)해서 수심 2,000 m부터 해면까지의 수온 · 염분을 약 10일 마다 관측하며 해면에서의 유속을 얻을 수도 있는 준 실시간 해양관측 시스템이다. 이 프로젝트에는 미국, 일본, EU, 캐나다, 영국, 독일, 한국, 오스트레일리아, 프랑스, 중국, 인도, 스페인, 덴마크, 뉴질랜드, 노르웨이, 러시아 연방, 아일랜드, 모리셔스(이상, Argo 플로트의 투입수의 순서에 따라) 등 18개국이 적극적으로 참여하고 있으며, 2006년까지 연간 700-800대의 플로트를 투입할 계획이다. 프로젝트의 시작단계에서는 목표 달성을 2005년으로 하였으나, 2006년으로 수정된 상황이다. 일본에서는 새로운 천년 프로젝트(Millennium Project)의 하나로 시작되었고, 『고도해양감시시스템(아르고계획)의 구축』이라는 방법으로 국제 Argo프로젝트에 참여하고 있다. 우리나라에서는 2001년부터 플로트 투입을 시작하였으며, 현재 26개의 플로트가 가동 중에 있다.

Fig. 1은 18개국이 투입한 Argo 플로트 중에서 2003년 12월 기준으로 데이터전송을 하고 있는 1,023개 플로트의 위치를 나타낸 분포도이다. 이 중에서 대부분(약 56%)은 미국과 일본이 투입하였고, 한국의 기여율은 약 3% 정도이다. 현재 사용 중에 있는 Argo 플로트는 APEX, PROVOR, SOLO, NINJA 4가지 종류가 있으며, 이동특성에 있어서 다소 다르다. 종류별 점유율을 보면 APEX: 73%, PROVOR: 14%, SOLO: 12.5%, NINJA: 0.5%이다. 여기에서는 가장 많이 사용되고 있는 APEX와 PROVOR에 대해서 소개 하도록 한다(Fig. 2).

일반적으로, Argo 플로트는, 바다에 투입되면 체제심도(통상 2,000 m)까지 가라앉고, 일정기간 그 깊이에서 표류하다가 약 10 일 후에 해면으로 부상한다. 그 사이에 해양표층, 중층의 수온, 염분, 압력을 관측하고, 부상 후에는 ARGOS시스템(위성에 의한 데이터 전달 서비스)에 의해 관측데이터와 Argo 플로트의 위치를 전송하고 다시 체제심도까지 가라앉는다. 이와 같은 표류 주기를 4-5년간 지속한다. 이 기간은 플로트의 배터리수명에 상당한다. 그리고, APEX가 PROVOR와 다른 점은 구조적인 차이에 기인한 체제심도의 차이이다. Fig. 3은 APEX타입의 구조를 나타낸 것이다.

Argo 프로젝트의 목표가 달성되면 (2006년 이후), 원인불명의 고장이외에도 매년 700대 이상은 배터리수명에 의해 동작하지 않게 되기 때문에 (이것을 ‘터미네이션’이라고 한다), 같은 수량의 Argo 플로트가 새롭게 투입되게 된다. 터미네이션한 플로트의 처리는 해양환경적 측면에서 볼 때 중요한 문제가 될 가능성이 있다. 여기서, 플로트의 회수방법을 검토하기 위해서는 터미네이션 후 플로트의 분포를 예측하고 실제 회수가 가능한 연약 표착의 가능성을 조사할 필요가 있다. 본 연구에서는 북태평양해역에 대해서 약 300 km사방에 1대의 밀도로 플로트를 투입했다고 가정하고, 플로터의 표류분포와 해안예의 표착에 관한 시뮬레이션을 수행했다. 먼저, 실측데이터와 시뮬레이션과의 비교를 통해 시뮬레이션의 유효성의 검증을 행하였다. 그리고 터미네이션 후 100년 간에 대한 플로트의 표류분포를 조사했다.

## 2. 시뮬레이션 방법

Argo 플로트의 표류 시뮬레이션을 위해 일본 해양과학기술센터(JAMSTEC)의 고해상도해양대순환모델(Ishida *et al.*[1998])로 계산한 유속장에 가상적인 입자를 추적하는 방법으로 실시했다.

해양대순환모델은 NOAA/GFDL의 MOM2를 기반으로 한 것으로 북위 75도에서 남위 75도까지의 전 지구를 대상으로 하고 있으며, 분해능은 경위도 방향 0.25도, 연직방향 55층으로 해면에서

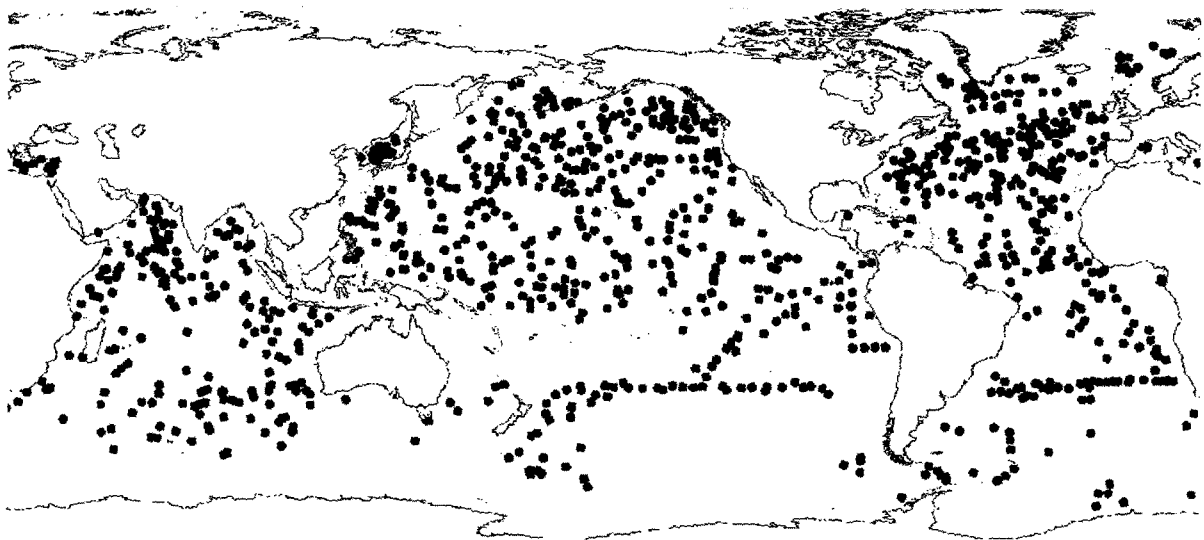


Fig. 1. Argo Network, as of December 2003 (1,023 floats). Argo deployments are available at the AIC website.

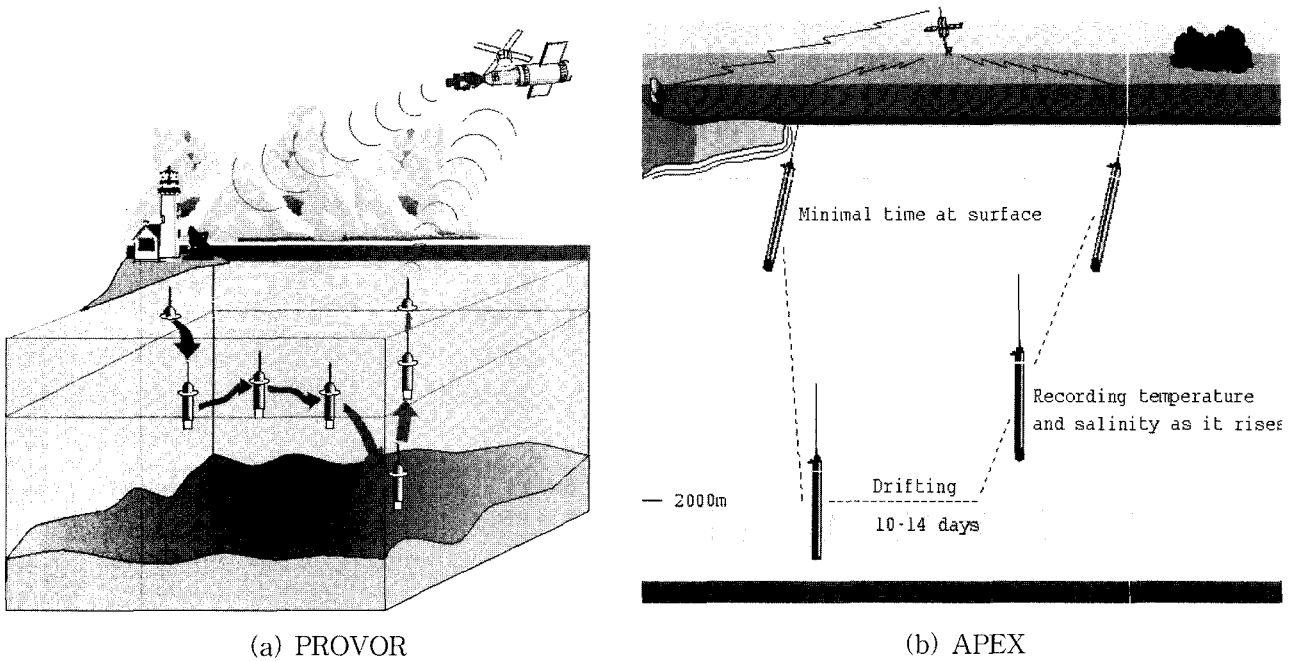


Fig. 2. Measurement system of profiling floats: PROVOR(a), APEX(b).

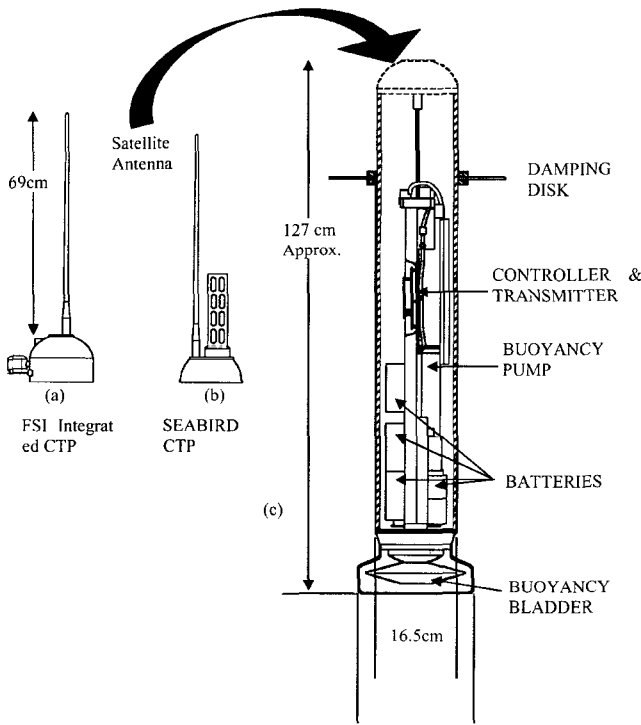


Fig. 3. Schematic diagram of APEX float.

수심 100 m까지의 연속해상도는 10 m이다. 해면의 열과 염분 플럭스는, 모델의 최상층의 수온과 염분을 Levitus[1982]의 수온 염분 기후치 데이터로 복원시키는 방법으로 산정하고, Hellerman & Rosenstein[1983]의 풍응력 데이터는 운동량 플럭스로서 주어졌다. 최초 2년간은 연평균 해면데이터를 가지고 계산한 후, 월평균 데이터를 사용하여 18년간의 적산을 했다. 즉, 적분 20년째의 1년간

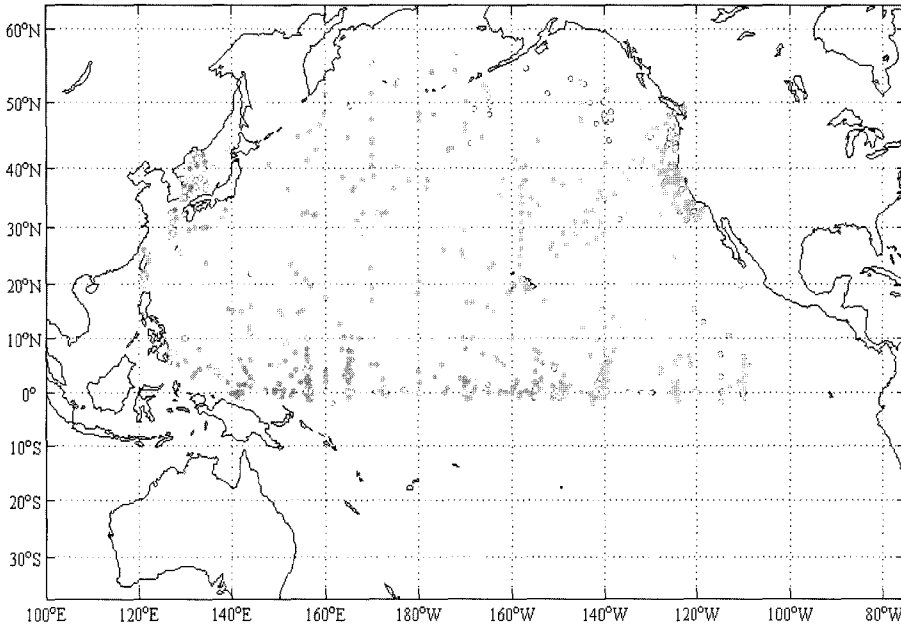
에 대해서 5일 간격 수평유속을 입자추적계산의 유속데이터로서 사용했다.

모델의 레벨 1(최상층: 5 m)과 레벨 43(2,045 m)의 데이터를 각각 해면과 플로트 체재 심도(2,00 m)에 상응한 값으로 사용했다. 입자추적 프로그램은 MOM2의 입자추적 루틴을 기반으로 작성한 것으로, 5일 간격의 유속 데이터로부터 선형보간해서 구한 유속으로부터 이동하는 입자를 2시간 간격으로 추적하였다. 모델 지형과 수치실험의 상세는 Ishida *et al.*[1998]과 Yang *et al.*[2002]을 참고하기 바란다.

### 3. 표면 부이 데이터를 사용한 Argo 플로트 표류 시뮬레이션

#### 3.1 표층 부이 데이터

Argo 플로트의 표류 시뮬레이션의 유효성을 검토하기 위해서 실제 투입된 표층 부이의 위치에서 표류 시뮬레이션하고, 실제 표류 부이의 결과와 비교하는 방법을 사용했다. 여기서 사용하는 표층 부이 데이터는 World Ocean Circulation Experiment(WOCE) 'Surface Velocity Program(SVP)'에서 수집한 것으로 NOAA 'Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory(AOML)'가 세계의 표층 플로트의 정보를 데이터베이스화해서 공표하고 있는 자료이다. 표층 부이는 6시간 간격의 위치 데이터를 통신 위성 경유로 송신하기 때문에 각각의 부이 이동에 대해서 자세한 정보를 얻을 수 있다. 그 정보로부터 각 부이의 ID, 투입일, 위치, 표착일, 상태 정보(예, 해표) 등을 포함하는 데이터베이스가 작성되어 있다. 즉, 표층부이의 표착 여부가 거의 분명하게 되기 때문에 연안에 표착한 부이 위치의 분포와 표착율을 간단하게 계산할 수 있다. 여기에서는, 1979년 2월부터 2001년 8월 31일까지 투입된 표면표류 부이의 기록을 사용해 시뮬레이션에 의한 결과와 통계



**Fig. 4.** Distribution of 879-buoy data obtained from WOCE-SVP database. Open symbols represent the buoys ran aground.

적 비교를 행하였다.

Fig. 4는 표면표류 부이 데이터베이스 중에서 북태평양에 투입된 879대의 부이의 투입위치를 나타낸 것이다. 투입 후, 연안에 표착한 부이는 흰색 원 마크로 표류중의 부이는 검정색 원 마크로 나타내고 있다. 표류부이는 투입 후 1년 이상 지났는데도 표류하고 있는 부이만을 표시한 것이다. 표착한 부이는 데이터베이스에서 연안표착으로 기재된 것 중에서 실제 지형데이터와의 비교를 통해 실제 표착이라고 판단된 것만을 선택했다. 월별 투입대수를 고려하여 3개월 간격으로 나누어 시물레이션을 수행했다.

### 3.2 표면 표류 데이터와 시물레이션 결과와의 비교

Fig. 5(a)는 2001년 8월 31일에 있어서 879대(위치는 Fig. 4참조)의 부이 데이터의 최종 위치 분포를 나타내고 있다.

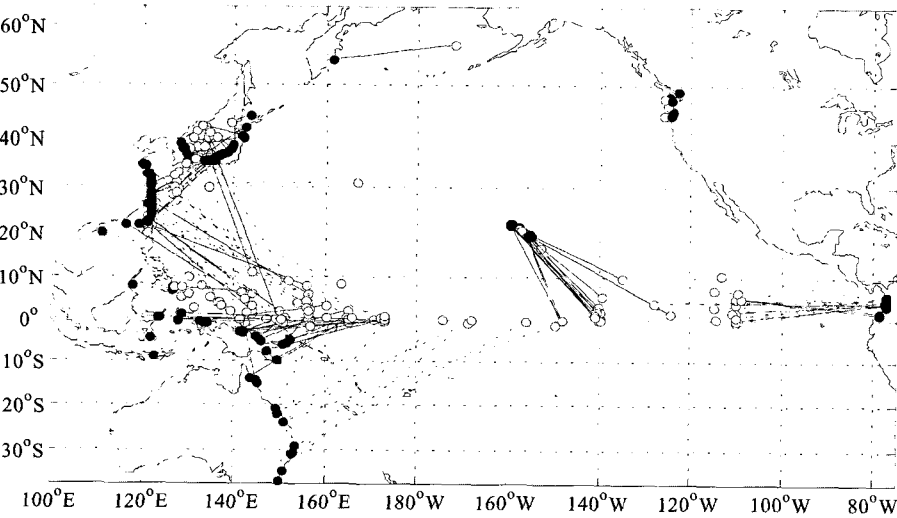
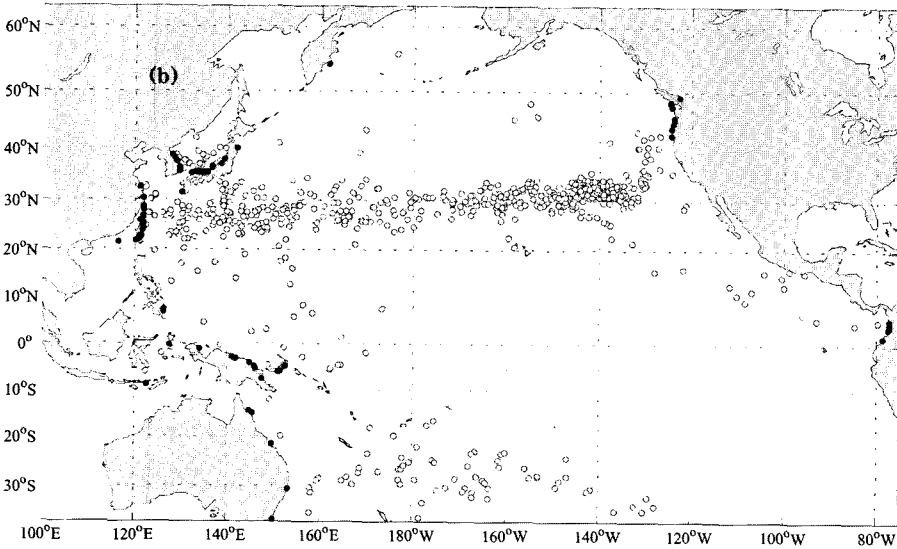
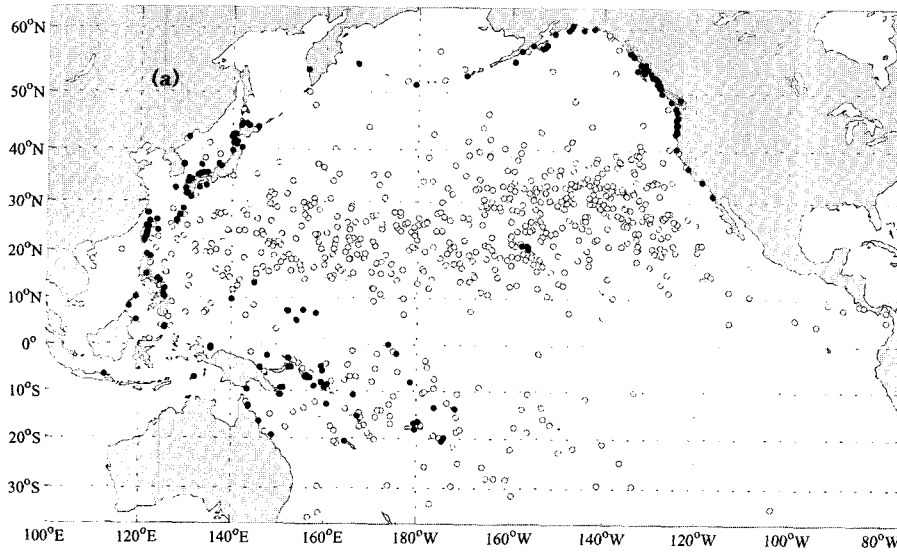
북태평양에서 표류중인 부이의 대다수는 북위 20도에서 30도까지의 해역에 집중하고 있다. 이것은 편서풍과 무역풍에 의한 해양의 에크만류 수렴에 의한 효과가 크다고 생각된다. 표착장소는 서태평양 및 아메리카의 연안이나 알래스카 만에 집중하고 있다. 북태평양에 투입된 부이의 대부분은 오세아니아에 이동하여 주변 섬에 표착한다.

879대 중 약 184대 (약 21%)의 부이가 연안에 표착했다. 연안에 표착한 184대 중에서 투입 후 1년 이내가 약 75%, 2년 이내는 93%, 3년 이내까지는 약 100%가 표착한다. 즉, 연안표착은 비교적 짧은 시간에 일어나는 것을 알 수 있다.

한편, Fig. 4에 표시한 부이의 투입 위치를 초기위치로 하는 시물레이션 결과를 Fig. 5(b)에 나타냈다. 해류의 계절변동을 고려하여 투입 시기는 3개월 간격으로 4기간으로 나눠 각 기간의 중간 시점을 투입시간으로 하였고, 관측데이터와 동일 표류기간에 대해서 시물레이션을 했다. 표류를 계속하는 부이는 실제보다 북위 30도 부근, 특히 하와이제도의 북동해역에 집중하고 있으나 이 이외에는 큰 분포의 차이는 없다. 또한, 표착한 부이에 대해서 보면 일본이나 대만 등 서부 태평양연안에서 표착하는 점은 관측결과와

유사하다. 그러나 해역별 입자의 표착위치를 보면 실제의 분포와 몇 가지 다른 경향이 보인다. 이들을 정리해 보면 다음과 같다. ① 모델의 지형에서는 작은 섬은 없기 때문에 하와이제도, 피지 등 태평양의 작은 섬에 표착하는 입자는 없다. ② 적도부근의 동해역에서는 많은 입자가 콜롬비아의 해안까지 이동해서 표착한다. 실제의 부이도 그와 같은 이동은 보이나 동부 아열대 태평양연안에 표착하는 것은 없다. ③ 동태평양 적도해역의 입자가 오세아니아 등 서부태평양에 표착하지 않는다(그림 생략). 이것은 적도역에서 모델의 표층류가 남북발산이 크고, 남적도해류에서 서쪽으로 운반되기 전에 입자가 남북으로 발산해 버리는 것이 원인이라 생각된다. ④ 알래스카만으로 향해서 이동하지 않는다. ⑤ 표착한 입자의 수는 106개이고, 1년 이내는 29개이다. 즉, 실제와 비교해 보면 그 수는 적고 1년 이내에 표착하는 비율도 낮다. 이 원인으로 시물레이션에서는 각 부이의 기간에 맞춰 시물레이션하고 있는 것을 들 수 있다. 예를 들면, 실제 데이터에서 1년 후에 부이가 표착한 경우 시물레이션에서는 표착하지 않고, 1년 며칠 후에 표착할 가능성이 있음에도 불구하고 1년으로 계산을 정지시킨다. 이 점에 착안하여, 각 부이의 계산을 관측기간에 맞추는 것이 아니라 투입 후 4년간에 대해서 시물레이션을 수행했다.

섬의 영향도 포함하여 시물레이션 결과를 조사하기 위해 모델의 지형에서는 평활화 때문에 바다로 되어 있는 하와이제도 해역에 있어서 수심이 20 m보다 낮은 곳에 들어간 입자는 표착한 것으로 간주하여 실험했다. 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 부이 데이터에서는 동부태평양 저중위도의 해역 및 하와이제도 근해로부터 4개의 부이가 하와이 제도에 표착했으나, 시물레이션에서는 동부 태평양 저위도의 해역과 하와이제도 근해로부터 19개의 입자가 표착하였다. 이것은 표착의 판단기준이 관대하고, 하와이제도를 순회하는 입자를 표착한 것으로 보기 때문이라고 생각된다. 4년간의 시물레이션에 의한 연안 표착수는 193개(전 투입입자의 약 22%, 하와이제도에 표착한 것을 포함)이고 그 중 1년 이내에 표착한 것은 약 70%, 2년 이내 90%, 3년 이내 96%, 4년 이내 100%



**Fig. 5.** Distribution of 879-buoy data as of August 31, 2001 (a) and simulation results over the same period as in the buoy data (b). Open circles: the release point; black circles: ran aground.

**Fig. 6.** Simulation result over the four years for the data shown in Fig. 4: particles ran aground in the case where the Hawaiian Islands are considered as a model topography. Open circles: the release point; black circles: ran aground less than 1 year (solid line) and over 1 year (dotted line).

이다. 이와 같은 연안 표착수는 시뮬레이션의 경우가 실제 부이데이터보다 다소 높으나 연안표착율은 서로 비슷하다는 것을 알 수

있다. 그러나 모델의 지형은 북태평양의 작은 섬이 없기 때문에 섬에 표착하는 것은 없다. 또한, 부이데이터는 동부 적도역에 투

입한 부이가 필리핀 등 서부 열대역에 표착하고 있고, 시뮬레이션에서는 동부 열대역에 투입한 입자중 하와이제도에 표착한 것은 있으나 서부 열대역에 표착하지는 않는다. 이와 같은 부이데이터와의 불일치는 있지만 전체적으로는 서부 태평양에 투입한 입자의 표착 위치나 동부 연안역으로부터 미국서해안에의 표착 등, 표착위치의 분포는 비슷하므로 표류 시뮬레이션을 통한 표착율을 예상한다면 좋은 정보를 제공해 줄 수 있다고 판단된다.

### 3.3 모델의 평가

모델의 결과는 전체적으로 실제 표층 부이의 이동을 잘 나타낸다고 평가할 수 있으나 실제보다 좁은 해역에 모이는 경향이 있는 점과 연안표착 장소가 다른 점 등의 차이가 보인다. 그 이유를 조사하기 위해 유속장을 비교해 보았다. Fig. 7에는 모델의 표층 유속장과 WOCE-SVP에 의한 유속장을 나타내고 있다. WOCE-SVP의 유속장은 총 6,810대의 표층부이에서 얻은 약 600만개의 유속데이터로부터 구했다. 모델의 유속장의 패턴은 관측치와 잘

일치하고 있으나, 남북방향의 유속은 다소 높은 경향이 있고, 이것이 실제 부이보다 빨리 수렴 영역으로 이동시키는 원인이라고 추측된다.

시뮬레이션에서는 계절변동까지는 고려하고 있지만 바람장의 경년 변동 등은 고려하고 있지는 않다. 예를 들면, 특정 해역에 모델을 적용해서 비교하면 실제 부이와 시뮬레이션에 의한 궤적은 크게 차이가 나기도 한다. 그러나 모델은 원래 해양대순환의 연구를 위해 만들어졌기 때문에 표층에서의 표류를 정밀하게 재현할 수 있을 정도의 연직, 수평, 시간분해능을 갖고 있지 않다. 따라서 이 시뮬레이션의 방법 및 모델의 한계를 고려하면 양자는 잘 일치하고 있다고 말할 수 있을 것이다.

### 4. Argo 플로트의 터미네이션에 의한 연안 표착율

일본의 Argo 플로트는 전지 수명이 다하면 해면을 표류하도록 설계되어 있다. 작동 중에는 수심 2,000 m에 있는 시간이 길기 때

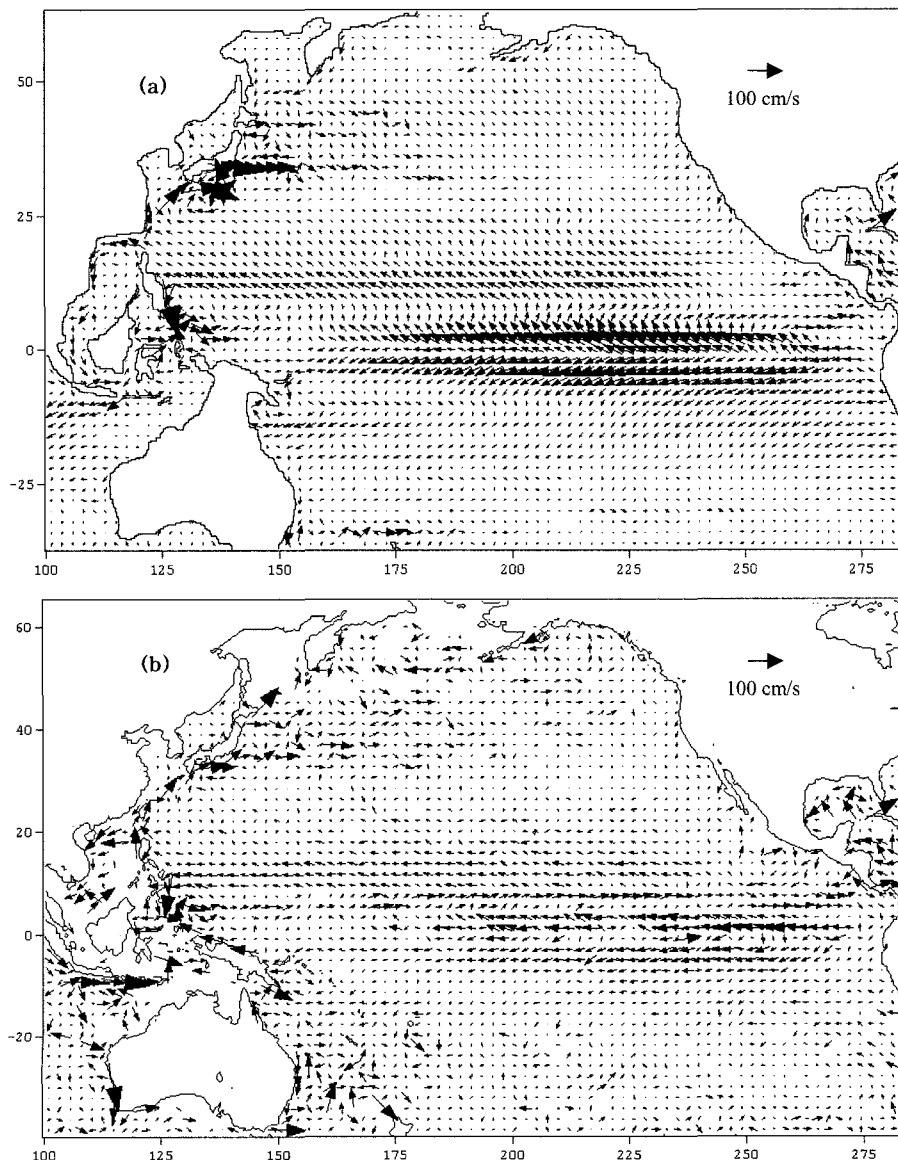
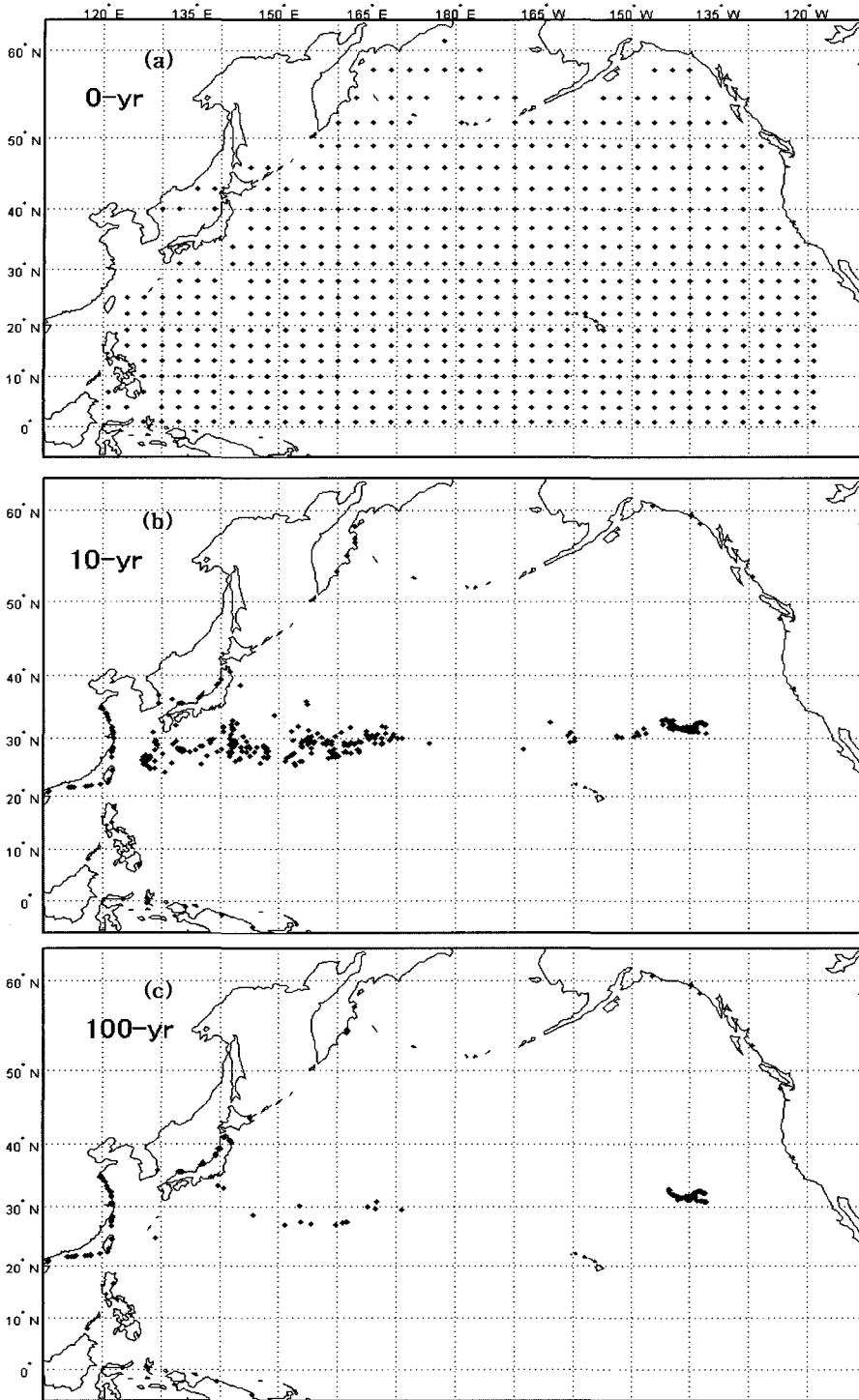


Fig. 7. Comparison of annual mean OGCM velocity at level 1 used in the simulation (a) and WOCE-SVP velocity (b).



**Fig. 8.** Initial positions of 653 particles used for simulation (a) and simulated distribution at 10-year (b) and 100-year (c) after the deployment of floats.

문에 표착은 없는 것으로 가정한다. Yang *et al.*[2002b]에 의하면 수심 2,000 m에서의 플로트의 거동은 지형에 의해 많이 제어되고 있는 것을 알 수 있다. Fig. 8(a)는 시뮬레이션에서 사용한 653개의 입자(수심 2,000 m 이상의 해역에 대해 3도 간격으로 1개)의 분포를 나타내고 있다. 투입 플로트의 초기분포는 Fig. 8(a)에서와 같다고 가정하고 처음 4년간은 10일 주기의 침강과 표류를 반복하고, 그 이후 100년간은 표층에서 표류하는 것으로 표류 시뮬레

이션을 수행했다.

Fig. 8(b)와 (c)는 터미네이션 후 각각 10년과 100년이 경과한 시점에서의 입자의 분포를 나타내고 있다. 입자의 이동은 처음 10년 동안에 거의 이루어지고 그 이후에는 입자의 이동이 거의 없었다. 가장 큰 특징은 입자가 북위 30도 부근에 고이면서 필리핀, 대만, 중국 연안에 표착하는 입자가 증가하는 것이다. 또한, 표류하고 있는 입자의 대부분은 하와이 북동 해역(북위 32도, 서경 140

도 부근)에 모인다. 이것은 연안에 표착하지 않는 입자의 약 61%에 해당한다. 이 해역은 해면 유속이 수렴하고 있는 곳이기 때문에 입자가 모이는 것으로 판단된다. 일본 수산청에서는 1980년대 후반에 북태평양의 쓰레기 분포와 밀도 조사를 하였다[Mio & Takehama, 1987]. 그 결과, 해양 쓰레기가 하와이 북방해역에 집중되고 있는 것을 알게 되었다.

Kubota[1994]는 부유물이 하와이 북동해역에 축적되는 메카니즘을 규명하기 위해 Stokes drift, 지형류, 에크만류에 의한 해면 유속장을 구해서 설명하였다. 본 시뮬레이션의 결과도 Kubota[1994]의 결과와 정성적으로 아주 유사한 결과를 나타내고 있으며, 북태평양해류 또는 아한대해류 등 대순환에 의한 변동과 무역풍과 편서풍에 의한 에크만수렴이 주된 메카니즘이라고 생각한다. 그러나 3장에서 언급한 바와 같이 실제 부이의 경우, 표류 위치는 비교적 많이 분산되고, 해면하의 유속, 에크만류의 연직구조 등의 기여도 무시할 수 없다고 생각된다. 또한, 저기압의 통과 등 짧은 주기의 변동이 부이의 분산에 크게 작용한다고 생각되어지므로 이들의 변동을 고려한 표류 시뮬레이션은 앞으로의 과제이다.

연안 표착율에 있어서는 약 100년이 걸리는 플로트의 자연분해 기간동안 약 30%가 연안에 표착한다는 결론을 얻었다. 최초 수년 동안 연안 표착율은 급증하고(투입 10년 후 약 12%), 10년째 이후 거의 일정비율로 표착율을 증가하고 거의 60년째 이후 30%정도에 접근한다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 Argo 플로트가 터미네이션한 후 플로트의 연안 표착에의 대책을 검토하기 위해서 플로트의 장기간에 걸친 표류 분포와 해안 표착에 관한 시뮬레이션을 했다. 시뮬레이션의 평가를 위해 WOCE의 표면부이 데이터와 비교 결과, 모델에 의한 연안 표착율은 약 22%였으며, 실제 표면부이의 경우도 21%로 거의 같고, 전체적인 궤적 패턴은 서로 비슷하다는 것을 알았다. Argo 프로젝트의 완성단계에서 본격적으로 고려되어야 할 사항으로써 터미네이션한 플로트의 환경대책을 마련하는데 필요한 플로트의 분포 및 연안표착율의 시뮬레이션을 수행했다. 투입 후 100년간 플로트의 연안 표착 위치는 주로 대만 및 중국 주변이고, 표류하는 플로트의 대부분(약 60%)이 하와이제도의 북동해역에 집중한다는 결론을 얻었다. 앞으로 보다 정도 높은 시뮬레이션을 위해서는 표착판단의 기준을 잡는 방법, 입자추적계산에 있어서의 시간

간격, 유속장의 공간내삽법, 바람장 등을 검토할 필요가 있다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부의 기본연구사업 “해양위해도 통합관리시스템 기반기술 개발”의 일환으로 수행되었다.

## 참고문헌

- [1] Guinehut, S., Larnicol, G. and Traon, P. Y. L., 2002, Design of an array of profiling floats in the North Atlantic from model simulations, *J. Marine Systems*, Vol. 35, 1-9.
- [2] Hellerman S. and Rosenstein, M., 1983, Normal monthly wind stress over the world ocean with error estimates, *J. Phys. Oceanogr.*, Vol. 13, 1093-1104.
- [3] Ishida, A., Kashino, Y., Mitsudera, H., Yoshioka, N. and Kadokura, T., 1998, Preliminary results of a global high-resolution GCM experiment, *J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII(Geophysics)*, Vol. 11, 441-460.
- [4] Kubota, M., 1994, A mechanism for the accumulation of floating marine debris north of Hawaii, *J. Phys. Oceanogr.*, Vol. 24, 1059-1064.
- [5] Levitus, S., 1982, Climatological atlas of the world ocean, NOAA Prof. Pap. No. 13, U.S. Govt. Print. Office, Washington, D.C., 173 pp.
- [6] Mio, S. and Takehama, S., 1988, Distribution and density of marine debris in the North Pacific based on sighting survey in 1987, *Proc. 35rd INPEC*, Fisheries Agency of Japan.
- [7] Roemmich, D. and Owens, W. B., 2000, The ARGO project: global ocean observations for understanding and prediction of climate variability, *Oceanography*, Vol. 13, 45-50.
- [8] Yang, C. S., Ishida, K. and Iwasaka, N., 2002a, On prediction of the Argo floats drifted ashore after termination, *Rep. Japan Marine Science Technology Center (JAMSTEC)*, Vol. 46, 107-122(In Japanese).
- [9] Yang, C. S., Suga, T. and Shikama, N., 2002b, Trajectories of profiling floats in the Kuroshio Extension Region, *J. Hydraulic Eng.*, Vol. 46, 989-994(In Japanese).

2003년 11월 20일 원고접수

2004년 1월 12일 수정본 채택