

대만 난류의 계절변동에 대한 연구

The Effects of Seasonal Wind Stress on the Formation of the Tsushima Current

남수용*, 석문식*, 방인권*, 송영호**, 박필성*

1. Abstract

Barotropic Model을 이용하여 바람의 계절변화에 따른 대만난류의 형성을 살펴보았다. 모델 격자간격은 위도와 경도방향 모두 0.25°로 하였고 바람은 Hellerman & Rosenstein (1983)의 바람을 이용하였다. 모델결과에 의하면 대만난류는 대만해협이 음의 유선함수(Stream Function) 값을 갖는 동계 (10월-3월)에는 쿠로시오로부터 직접 분기되어 형성되며 대만해협이 양의 유선함수값을 갖는 하계 (4월-9월)에는 대만해협을 통해 유입된 대만난류가 대만난류의 기원으로 나타난다. 이러한 대만난류 유입경로의 계절변화는 쿠로시오 수송량의 계절변화에 의한 것이 아니라 연해 (동지나해)에서의 바람의 계절변화에 의해 야기되는 것으로 사료된다. 대만해협과 대만해협에서의 수송량과 쿠로시오의 수송량변화는 각각의 최대, 최소값만을 고려하면 쿠로시오와 대만해협에서의 수송량 변화는 약 180°의 위상차를 갖으며, 대만해협에서의 수송량변화는 북풍계열의 바람이 우세한 동계를 제외하고는 쿠로시오의 수송량변화와 같은 위상을 갖는다.

2. Model

지배방정식은 운동방정식과 연속방정식으로 식 (1)과 (2)와 같다.

$$\frac{d\vec{V}}{dt} + f\vec{K} \times \vec{V} = -\nabla \frac{P}{\rho_0} - \frac{C_D |\vec{V}| \vec{V}}{H} + \frac{\vec{\tau}}{\rho_0 H} + A_M \nabla^2 \vec{V} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot (H\vec{V}) = 0 \quad (2)$$

$$-\frac{\partial P}{\partial Z} = -\rho_0 g \quad (3)$$

식 (2)를 이용하여 다음과 같이 유선함수 (ψ)를 정의하고 식 (1)에 curl을

$$u = -\frac{\partial \psi}{Ha \partial \phi}, \quad v = -\frac{\partial \psi}{Ha \cos \phi \partial \lambda} \quad (4)$$

취한후 (4)식을 이용하면 유선함수로 표시된 와도방정식을 얻는다. 해수표면은 rigid lid로 가정하였고 해저면에는 quadratic 형태의 해저마찰을 적용하였다. 모델영역이 아열대순환의

* 한국해양연구소 해양물리 연구부

**인하대학교

서쪽부분에 해당함으로 동경 160°에 주어진 개방 경계조건은 Stommel(1948)의 해와 같게 다음과 같이 주었다.

$$\psi(Sv) = \psi_{\max} \sin\left(\frac{\pi}{L} y\right) \quad (5)$$

여기서 L 은 남북방향으로의 모델크기이고 y 는 남쪽경계로부터 북쪽방향의 위치를 나타내고 ψ_{\max} 는 쿠로시오의 최대수송량을 말한다. 쿠로시오가 일본연안으로부터 분기되는 것을 나타내기 위해 동경 160°에 주어진 개방경계에서 북위 36° 이북은 최대 -5 Sv의 음의 유선함수 값을 갖도록 하였고, 그 이남은 최대 55 Sv를 갖도록하였다 (Nitani, 1972). 해안선을 따라서 대부분 경계(육지와 접한)에 no-slip 조건을 적용하였지만 동경 125°-160°에 이르는 남쪽경계와 동경 145°-160°까지의 북쪽경계(subtropical gyre의 남북경계)에는 slip 조건을 부여하여 실제 경계조건과 비슷하게 적용하였다. 격자구성은 Arakawa의 B-Grid를 사용하였고 격자는 0.25° 간격으로 201×153으로 하였고 점성계수는 2×10^7 cm²/sec로 주었다. 섬에서 유선함수 값을 얻기위해 Hole relaxation 방법(Takano, 1974)을 사용하였다.

해수표면에는 Hellerman & Rosenstein (1982)의 월별 바람용력을 적용하였고 해저수심에 있어서는 최대수심을 500m로 하였고, 수심이 500m 보다 이심인 지역은 실제 수심을 갖도록 하였다.

3. Result

그림 1은 월별 유선함수의 분포로서 유선함수의 분포선의 간격은 5 Sv이상은 5 Sv이며 0.2-1 Sv 사이는 0.2 Sv이며 0.02-0.1 Sv 사이는 0.02 Sv이고 음의 유선함수는 2 Sv 간격으로 나타내었다. 대양에서의 유선함수의 분포는 전체 개월 모두 서안 강화로 인해 쿠로시오가 형성되어 대만 동북부와 일본 류슈 사이의 수심이 급격히 변하는 경계지역을 따라 흐르다 대부분 북위 37°에서 일본연안으로부터 분기되어 동쪽으로 흐르며 북위 36° 이북 지역은 음의 유선함수 분포를 갖는다. 대만 동북부와 일본 류슈 사이의 류큐열도(Ryukyu Islands)를 경계로 류큐열도 북쪽으로의 수송량은 전체 수송량의 약 1/5 - 1/3 정도인 10 - 20 Sv 정도이며 이러한 수송량은 대부분 도까라 해협 (Tokara Strait)을 통해 쿠로시오에 합류한다. 유선함수의 분포에 있어서 일본연안으로부터 분기위도는 1월에서 9월까지는 약 북위 37°에서 일어나지만 10월과 11월에는 분기위도가 북상하여 북위 41°에서 일어나고 12월에는 북위 39°로 남하한다. 분기위도 북쪽의 음의 유선함수 분포는 양의 유선함수 값이 강할수록 음의 값도 강해지는 분포를 갖는다.

대만해협을 통해 동해로 유입되는 유선함수의 분포는 대만해협이 음의 유선함수값을 갖을 경우 (10월-3월) 대만 북동부에서 류슈 남단을 잇는 100-200m 등수심선을 따라 흐르다, 류슈 남서부에 등수심선이 동중국해쪽으로 혀모양으로 만입된 곳의 서쪽에서 동중국해로 유입되어 황해 또는 동해로 유입된다. 대만해협이 양의 유선함수 값을 가질 경우는 (4월-9월) 대만해협을 통해 유입된 대양수가 동중국해로 유입되며 일부는 중국 동쪽연안을 따라 황해

로 유입되며 극히 일부는 동중국해를 걸쳐 동해로 유입되기도 한다. 그 나머지는 일본 큐슈 남서연안을 따라 쿠로시오에 합류한다.

그림 2는 대한해협과 대만해협에서의 월별 수송량변화를 나타낸 것으로서 대만해협에서는 7월에 최대 수송량을 보이고 11월에 최소 수송량을 보인다. 또한 4-9월은 양의 값을 갖는 반면에 1-3월과 10-12월에는 음의 값을 갖는다. 이는 수심이 얕은 황해 및 동중국해에서 동계에 강한 북풍의 영향에 의해 중국연안을 따라 강한 남향류의 형성되기 때문이다. 대한해협에서의 수송량변화는 대만해협과 달리 항상 양의 값을 갖으며 5월과 10월에 가장 높은 값을 보이고 2월에 가장 작은 값을 갖는다. 즉 양 해협 모두 수송량이 동계에 최소를 보이고 하계에 최대를 보인다. 그림 3은 쿠로시오의 월별 수송량변화와 대만해협과 대한해협에서의 월별 수송량변화와의 관계를 나타낸 것으로 쿠로시오 수송량은 1월이 가장 높은 값을 갖으며 10월에 가장 낮은 값을 갖는데 반해 대한해협과 대만해협에서는 동계가 가장 낮고 하계에 가장 높은 값을 갖는다. 여기서 각각의 최대, 최소값만을 고려하면 쿠로시오와 대한해협에서의 수송량 변화는 약 180° 의 위상차를 갖는다. 또한 대만해협에서는 6-7월이 가장 높고 11-2월이 낮은 값을 갖는다. 즉 대만해협의 수송량은 북풍계열의 바람이 우세한 동계를 제외하고는 쿠로시오의 수송량변화와 같은 위상을 갖는다.

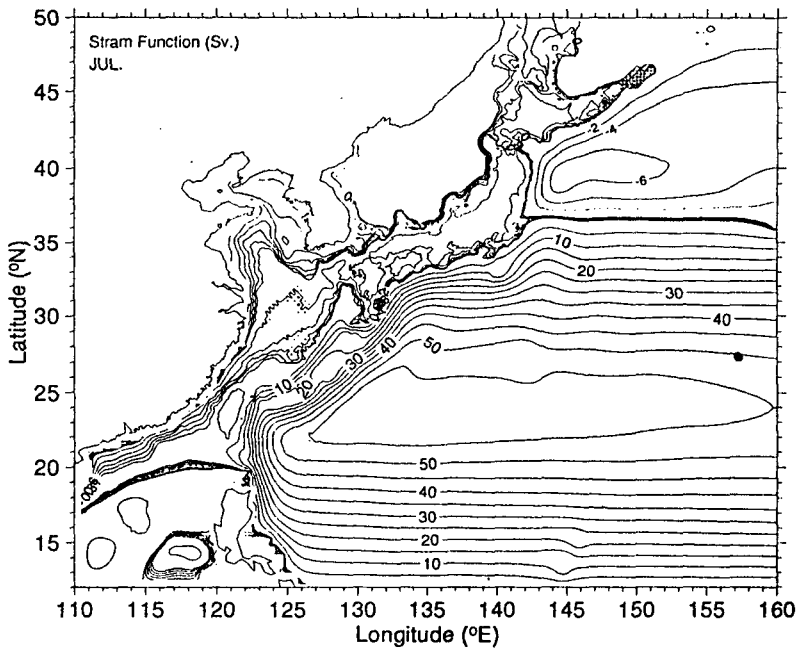
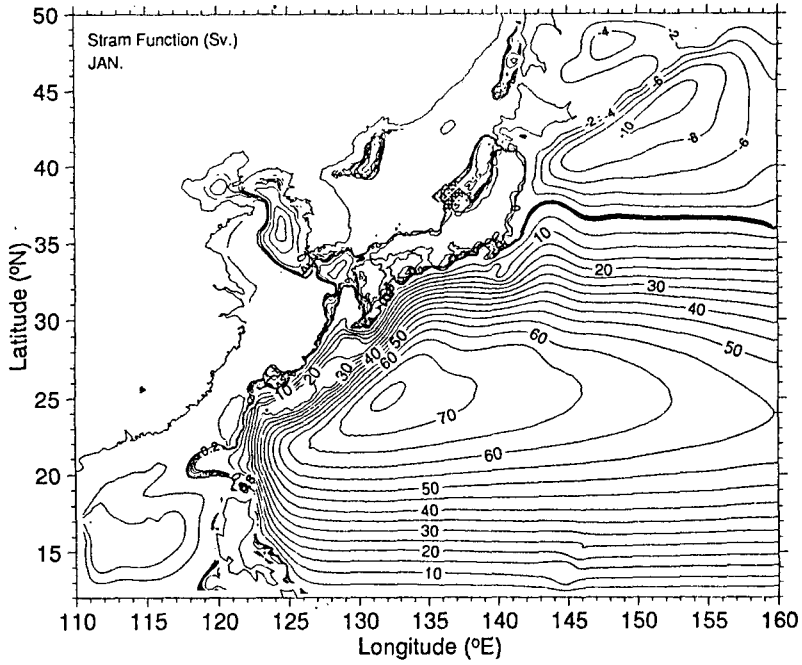


Figure 1. Monthly stream function.

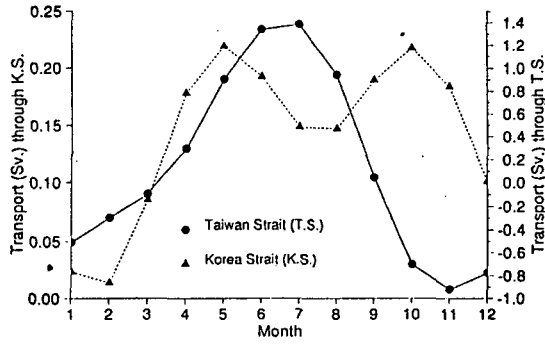


Figure 2. Monthly transports through the Korea Strait and Taiwan Strait.

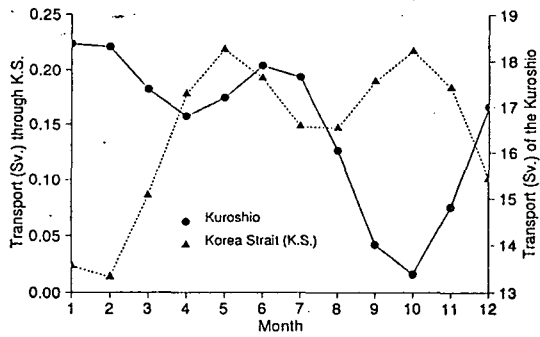
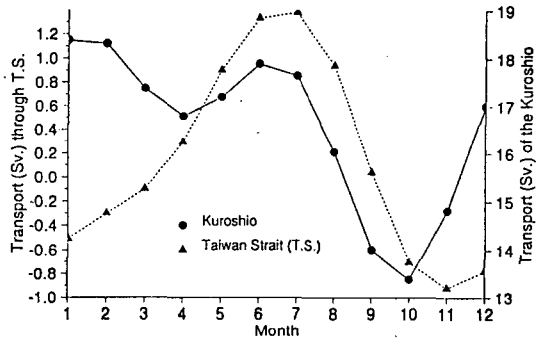


Figure 3. Monthly transports of the Kuroshio and through the Korea Strait and of the Kuroshio and through