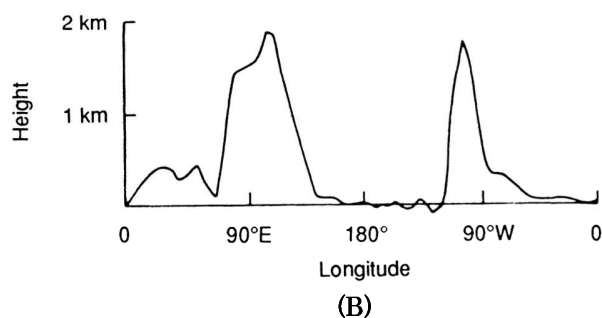
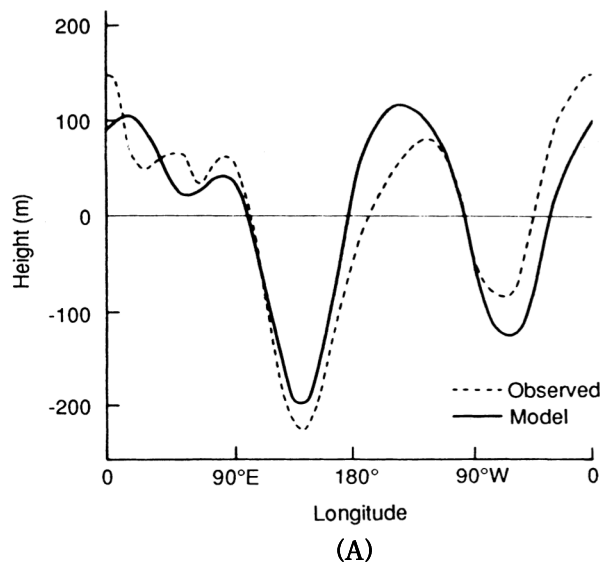


문 13. (A)는 지형에 의해서 유도되는 정제 로스비파를 다룬 차니-엘리어슨(Charney-Eliassen) 계산 결과(실선)와 1월 평균 45°N에서 관측된 500 hPa 고도장 섭동(점선)을 비교한 그림이고, (B)는 계산에서 사용된 45°N의 평활화된 지형의 단면도이다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

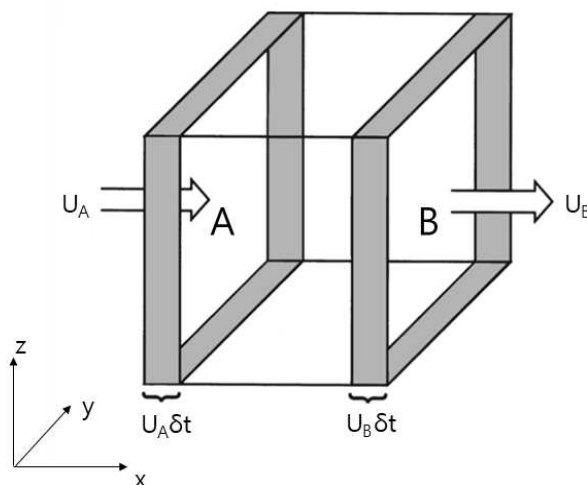


- ① 지형에 의해서 유도되는 정체 로스비파의 파수(K)가 임계파수 ($K_s \equiv \frac{\beta}{u}$)와 같을 때 진폭이 최대가 된다.
- ② 해당 결과를 통해 북반구 중위도의 정체 로스비파가 히말라야 산맥이나 로키 산맥에 의해 유도됨을 알 수 있다.
- ③ 해당 결과는 에크만 펌핑 형태의 경계층 항력이 포함되지 않는다.
- ④ 산 정상은 지위고도의 골보다 약 1/4 주기 서쪽에 나타난다.

문 14. 북반구에서 순환 정리(circulation theorem)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 대기의 밀도가 압력과 온도의 함수인 경우, 절대 순환은 보존되지 않는다.
- ② 등압면 위 닫힌 곡선에 대해 절대 순환은 반드시 보존된다.
- ③ 순압대기에서 북쪽으로 이동하는 수평면 닫힌 곡선에는 양의 상대 순환이 유도된다.
- ④ 맑은 날 낮의 해풍을 경압 대기에 대한 절대 순환 방정식으로 설명할 수 있다.

문 15. 다음 그림은 y, z 평면에서 동일한 유체입자로 이루어진 작은 물질체적의 각 면(A, B로 표시)이 유체와 함께 x 방향으로 각각 U_A, U_B 속도로 이동하는 모습을 나타낸다. 흐름은 x 방향으로만 존재하며 $U_B > U_A > 0$ 이다. 밀도장은 시간과 공간에 따라 변할 수 있다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, y, z 방향의 길이는 변하지 않고 질량의 생성과 소멸은 없다.)



- ㄱ. 물질체적 내부에서는 $\frac{\partial u}{\partial x} > 0$ 인 발산 흐름이 나타난다.
- ㄴ. 물질체적을 따라 관측한 밀도변화율 $\frac{D\rho}{Dt}$ 는 음수이다.
- ㄷ. 고정된 위치에서 관측한 밀도의 국지적 시간변화율 $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ 는 음수이다.

- ① $\neg$
② $\neg, \perp$
③ $\perp, \sqsubset$
④ $\neg, \perp, \sqsubset$

문 16. 하부에 산악이 없고 평균 깊이가 H 인 운동이 없는 기본상태의 천수 유체에 대해서 선형화된 수평 운동방정식과 연속방정식을 깊이 h' 에 대한 방정식으로 정리하면 다음과 같은 방정식을 얻는다. 이 방정식으로 알 수 있는 천수 파동에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

$$\frac{\partial^3 h'}{\partial t^3} + (f^2 - gH\nabla_h^2) \frac{\partial h'}{\partial t} = 0$$

- ㄱ. 파동해($h' = \text{Re}\{Ae^{i(kx + ly - \nu t)}\}$)를 가정하여 위 식에 대입하면 진동수(ν)에 관한 3차식을 얻을 수 있다.
- ㄴ. 진동수가 0인 모드는 진동하지 않는 정체 중력파를 나타낸다.
- ㄷ. $f = 0$ 인 경우, 진동수가 0이 아닌 모드에서의 파동은 비분산성이다.

- ① $\neg$
② $\neg, \perp$
③ $\neg, \sqsubset$
④ $\perp, \sqsubset$

문 17. 로렌츠(Lorenz) 에너지 순환에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 에디에 의해 따뜻한 공기는 극으로, 차가운 공기는 적도로 수송되면 평균가용위치에너지가 에디가용위치에너지로 전환된다.
- ② 따뜻한 공기가 연직으로 상승하면 에디가용위치에너지가 에디운동에너지로 전환된다.
- ③ 평균가용위치에너지는 에디가용위치에너지로의 전환을 거쳐 에디운동에너지로 변환될 수 있다.
- ④ 닫힌계의 에너지는 보존되므로 지구의 평균가용위치에너지, 에디가용위치에너지, 평균운동에너지, 에디운동에너지를 더한 값은 항상 일정하게 유지된다.

문 18. 밀도와 성분이 같은 정육면체 모양의 두 유체덩이 A와 B가 있다. B의 한 변의 길이는 A의 2배이다. 두 유체덩이에 동일한 중력가속도가 작용하고, 모든 경계면에서의 평균 층밀립 응력(shear stress)이 동일할 때, A에 대한 B의 중력과 점성력(viscous force)의 크기비로 옳은 것은?

- ① 중력 2배, 점성력 2배
- ② 중력 4배, 점성력 8배
- ③ 중력 8배, 점성력 4배
- ④ 중력 8배, 점성력 8배

문 19. 다음은 기본류가 없는 적도 베타평면(β -plane)의 선형 천수 방정식에서 섭동장을 나타낸다. 이를 통해 유도되는 적도 켈빈파(Kelvin wave)에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, 적도에서 멀어질수록 파동의 진폭이 감소하는 경계조건을 적용한다.)

$$\begin{pmatrix} u' \\ v' \\ \phi' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{u}(y) \\ \hat{v}(y) \\ \hat{\phi}(y) \end{pmatrix} e^{i(kx - \nu t)}$$

ν : 진동수, k : 동서방향 파수

- ㄱ. 적도 켈빈파는 적도에 중심을 두고 위도에 따라 가우스 분포를 하고 있는 동서 속도 섭동과 지오펜셜 섭동을 갖는다.
- ㄴ. 적도 베타평면의 근사를 적용하면 적도를 사이에 두고 코리올리 매개변수의 부호가 바뀌지 않는다.
- ㄷ. 적도 켈빈파에서 $c^2 = (\frac{\nu}{k})^2 = gh_e$ 를 만족하는 적도에 갇힌 해는 동쪽으로만 전파된다. (g : 중력가속도, h_e : 유체 깊이)
- ㄹ. 적도 켈빈파에서 $v' = 0$ 이기 때문에 남북방향 기압경도력도 0이 되며, 동서방향 바람에 작용하는 전향력과 남북방향 기압경도력 사이의 지균 균형은 존재하지 않는다.

- ① ㄱ, ㄴ
- ② ㄱ, ㄷ
- ③ ㄱ, ㄹ
- ④ ㄴ, ㄷ

문 20. 북반구에서 발달하는 태풍에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 대기-해양 상호작용이 마찰소산과 균형을 이루기 위한 위치 에너지를 제공하는 효율은 해양에서 대기로의 위치에너지 전달률에 의해 결정된다.
- ② 태풍의 곡률반경이 작아질수록 지균풍과 경도풍의 차이는 줄어든다.
- ③ 태풍의 이차순환은 하층에서의 중심 방향 유입, 태풍 눈벽에서 온위를 보존하며 상승하는 기류, 상층에서의 유출 등으로 구성된다.
- ④ 저기압성 곡률이 강해질수록 원심력의 영향이 커지므로, 동일한 기압경도에 대한 경도풍의 풍속은 지균풍보다 커진다.

문 21. 동태평양 해수면 온도 편차 $T(t)$ 는 다음의 지연진동 방정식을 따른다. 이와 관련된 엘니뇨의 발달과 쇠퇴에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

$$\frac{dT}{dt} = bT(t) - cT(t - \tau)$$

b, c : 양의 상수, t : 시간

- ㄱ. 엘니뇨 시 동태평양 해수면 온도가 상승하면 무역풍과 용승이 약화되고, 다시 해수면 온도 상승을 강화한다. 이는 $bT(t)$ 에 해당하는 양의 되먹임이다.
- ㄴ. 엘니뇨 발달기에는 $bT(t) > cT(t - \tau)$ 가 되어 해수면 온도 편차가 증가하고, 쇠퇴기에는 그 반대가 될 수 있다.
- ㄷ. $-cT(t - \tau)$ 는 적도 해양파가 동쪽으로 전파된 뒤 서쪽으로 반사되어 수온약층을 조절하고 해수면 온도를 낮추는 지연된 음의 되먹임이다.
- ㄹ. 지연시간 모델을 통해 ENSO 순환주기의 평균적인 양상에 대해 설명할 수 있다.

- ① ㄱ, ㄴ, ㄷ
- ② ㄱ, ㄴ, ㄹ
- ③ ㄱ, ㄷ, ㄹ
- ④ ㄴ, ㄷ, ㄹ

문 22. 다음은 동서방향 준지균 운동방정식이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것은?

$$\frac{D_g u_g}{Dt} - f_0 v_a - \beta y v_g = 0$$

- ㄱ. 해당 방정식에서 이류는 지균풍에 의한 이류만 고려한다.
- ㄴ. $f_0 v_a$ 는 비지균풍에 작용하는 전향력으로 고정된 위치에서 관측한 동서방향 지균풍의 시간변화를 유도한다.
- ㄷ. 종관규모 운동에서 $\beta y v_a$ 는 다른 항들에 비해 상대적으로 크기가 작아 무시되었다.

- ① ㄱ, ㄴ
- ② ㄱ, ㄷ
- ③ ㄴ, ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

문 23. 북반구 중위도의 이디(Eady) 모델에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

- ㄱ. 가장 불안정한 모드의 온위 섭동이 양($\theta' > 0$)인 구역에서 공기덩이는 극 쪽으로 움직이며 상승한다.
 ㄴ. 가장 불안정한 모드에서 기압골 축과 온도능 축은 고도가 증가할수록 서쪽으로 기울어진다.
 ㄷ. 이디 모델에서는 평균 위치 소용돌이도가 0이기 때문에 레일리(Rayleigh) 필요조건을 만족시키지 못한다.

- ① ㄱ ② ㄱ, ㄴ
 ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ

문 24. 북반구 중위도의 장기간 오일러 평균 자오면 순환과 대규모 에디 수송에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

- ㄱ. 페렐 순환은 평균적으로 따뜻한 공기가 하강하고 차가운 공기가 상승하는 열적으로 간접적인 순환이다.
 ㄴ. 중위도의 극향 에디 열 수송은 열적으로 간접적인 평균 자오면 순환을 유도한다.
 ㄷ. 상부 대류권의 극향 에디 운동량 수송이 약 30°N 부근에서 최대이고 그보다 고위도로 갈수록 감소하면, 열적으로 직접적인 중위도 평균 자오면 순환이 유도된다.
 ㄹ. 북반구 중위도의 장기간 오일러 평균 자오면 순환에 의한 전향력은 에디 운동량 수송의 수렴에 의한 가속과 균형을 이룬다.

- ① ㄱ ② ㄷ, ㄹ
 ③ ㄱ, ㄴ, ㄷ ④ ㄱ, ㄴ, ㄹ

문 25. 장기간 평균 상태인 북반구 중위도에서의 운동량 수송에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, 대기는 정상상태(steady-state)이고 연직 적분한 평균 남북 질량 수송은 0이며 지표 부근에는 서풍이 분다.)

- ㄱ. 중위도의 연직 적분된 극향 절대 각운동량 수송은 주로 에디 운동량 수송에 의해 이루어진다.
 ㄴ. 30°N 보다 고위도에서 에디 운동량 수송이 양의 값을 가지면서 극쪽으로 감소하면, 에디 운동량 수송의 수렴이 나타나 평균 서풍을 감속하는 방향으로 작용한다.
 ㄷ. 북반구 중위도에서 지표 기압 토크는 대기와 지표 간의 총 운동량 교환의 절반 정도를 차지한다.
 ㄹ. 산맥 서쪽의 지표 기압이 동쪽보다 높으면 지표 기압 토크가 대기로부터 지표로 각운동량을 전달할 수 있다.

- ① ㄱ, ㄴ ② ㄱ, ㄷ
 ③ ㄴ, ㄹ ④ ㄱ, ㄷ, ㄹ