1994년 동아시아 여름 가뭄의 관측적 특성과 GCM을 이용한 모의실험

최영진, 조하만, 박정규*, 남재철, 송병현

기상연구소 응용기상연구실

*Goddard Space Flight Center/NASA/USA

1. 서론

1994년 여름에 우리 나라에는 이상고온과 극심한 가뭄현상이 있었다. 일최고 기온이 기후값보다 높은 날이 20여일간 지속되었으며(Fig.1), 장마기간의 강수량은 최근 30여년중 최저값을 기록하였다(Fig.2). 이러한 이상 기후 현상으로 인해 여름철 전력수요가 폭발적으로 증가하였으며, 물부족 현상은 다음해까지 계속되어 산업 전반에 많은 피해가 있었다.

이상 기후가 발생하는 원인으로는 지구 온난화로 인한 기후 변화와 ENSO 현상등이 주요 원인이라고 알려져있다. 지구 온난화가 진행될수록 물 순환의 양극화 현상이 더욱 심해져 지역에 따라 어떤 지역에서는 가뭄이 더욱 심해지는 반면, 또 다른 지역에서는 홍수와 폭우가 심해질 것이라는 견해도 있다. 산업 활동으로 인한 이산화탄소 등의 온실 기체 농도의 증가와 오존층 파괴, 인구 증가와 산업화로 인한 토지 이용의 변화 등이 지구 환경에 변화를 초래하고 있으며, 이상 기후 발생의 한 원인이 이라고 생각되고 있다. 전지구적인 대규모의 기후 변화에 관한 시나리오는 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)보고서 등을 통해 알려져 있지만, 그로 인한 지역 기후 변화는 지역에 따라 다르게 나타나는 것으로 알려져있다. 최근에 발표된 IPCC 2차 과학평가보고서에 따르면, 피나투보화산 폭발 이후 온난화 경향이 일시 둔화되기도 하였고 또 각종 인위적 대기 오염 물질을 포함한 에어로졸의 증가로 , 1차 보고서에서 제시되었던 온난화 정도에 비해서는 다소 약화된 것으로 보고되고 있지만, 여전히 지구 온난화는 존재하며, 전지구적 규모가 아닌 지역적 규모에서도 기후 변화는 분명히 나타나고 있다고 한다. 또한 ENSO(El Nino-Southern Oscillation)현상은 사회와 생태계에 큰 영향을 주는 기후 현상이며, 지역 기후의 연 또는 계절 변화에 영향을 준다. ENSO는 적도 태평양의 해양에서 일어나는 엘니뇨현상과 대기 중에서 일어나는 현상인 남방진동이 결합된 용어이다. 이것은 대기와 해양 사이의 끊임없는 상호 작용을 반영하는 것이다.

ENSO로 인한 피해는 전세계적으로 대략 수천만 달러에 이르는 것으로 알려져있다. ENSO는 보통 3-7년주기로 불규칙하게 일어나는데, ENSO의 warm event동안에는 보통 적도 서태평양에 존재하던 따뜻한 해수가 동태평양으로 전파된다. 남미 해안에서 적도 태평양의 날짜변경선에 이르는 지구 표면의 거의 1/4을 덮는 대규모의 비정상적인 따뜻한 해수의 출현은 지구의 대기 순환과 강수 분포의 변화를 유도한다. 열대와 아열대의 ENSO의 영향을 강하게 받는 지역에서는 집중적인 연구 결과로 ENSO와 이상기후와의 연관성이 어느 정도 알려져 있지만, 우리 나라를 포함한 중위도의 동아시아 몬순 기후대에 미치는 영향은 많은 부분이 아직도 연구 과제로 남아 있다. 특히, 우리 나라는 몬순 지역의 북단에 위치하고 있어, 열대 해양의 효과와 중위도 기후 시스템의 영향이 복잡하게 나타나는 것으로 생각된다.

이상 기후에 대한 가장 기본적인 질문은 우리나라에 나타나는 이러한 이상기후 의 발생 원인은 무엇이고, 예측할 수 있는가 라는것이다. 대기 상태의 예측은 미분 방정식계의 비선형, 초기치 문제로, 역학적 모형을 사용한 대기 예측 가능성은 이론적으로 약 2주일 정도로 알려져 있다. 장기 또는 기후 예측은 큰 과제로 남아있으며, 대체로 통계모형에 의존하고 있으며, DERP(Dynamic Extended Range Prediction)문제에 접근하기 위한 가장 좋은 도구가 현재로서는, 많은 결함이 있기는 하지만 GCM(General Circulation Model, 대기 대순환 모형)이라고 생각된다. 연구는 3년동안(1995-1997)진행될 계획이며, 1차적인 목표는 관측에서 나타난 상황을 모의 하는 것이다. 이를 위해 미국 NASA/GSFC(Goddard Space Flight Center)의 GEOS(Goddard Earth Observing System) -1 GCM을 도입하여 CRAY C90 설치하였으며, 1994년의 여름 이상기후를 모의하기 위한 일련의 실험을 실시하였다. GEOS-1 GCM은 위·경도 2° X 2.5° 격자 체제의 대류권 20층 모형이다.

2. 1994년의 여름(7월) 기상 특성

2.1 우리나라 주변 기상장 분포

1994년 여름에는 7월초부터 북태평양 고기압의 발달로 상층 등압면의 지오포텐셜 고도가 높게 나타났으며 장마의 시작은 예년과 비슷하였으나 종료일이 평년보다 중부 지방 9일, 남부 및 제주 지방은 17일 빠른 것으로 조사되었다. 장마기간 중 강우량은 중부가 164mm로 예년의 약 48%, 남부는 56.3mm로 예년의 16.7%에 불과하였다. 장마전선은 제주도 남쪽에서 6월 중순경부터 발생하였으나 6월 말경에 일시 활성을 띄었으나 7월로 접어들면서 북태평양 고기압이 확장되면서 장마전선은 북쪽으로 이동하고 남부 지방부터 심한 가뭄이 계속되었으며 북태평양 고기압의 세력이 강해져서 전국의 최고기온이 35℃를 넘는 불볕 더위가 나타났다. 1994년 여름은 짧은 장마 기간과 북태평양 고기압의

세력 확장으로 극심한 가뭄과 무더운 날씨가 특징적으로 나타났다.

기온을 보면, 고온 다습한 북태평양 고기압이 확장되면서 월평균기온이 전국적으로 22~30℃의 분포를 보였으며, 예년보다 2~5℃가 높았다. 월평균 최고 기온은 27~36℃ 분포로 평년보다 2~6℃가 높았으며 특히 영남 내륙지방에서 34~36℃로 평년보다 5~6℃ 높은 기온 분포를 보였다. 월평균 최저 기온은 19~26℃로 평년보다 0~4℃ 높게 나타났다.

2.2 대규모 기상장

1994년 7월에 중국 중부와 한국 남부, 일본 등에 몬순강우가 사라졌다. 기후적 패턴과 비교해 볼 때 티벳 고원 동쪽의 상층 고기압이 이례적으로 빨리 발달하였으며, 동아시아와 북태평양 지역의 이례적인 7월의 고기압성 순환은 전형적인 8월의 패턴을 보임으로써, 이것이 서태평양과 인도양으로 부터의 수분공급을 저지함으로서 동아시아의 강수량 감소 요인으로 작용한 것으로 생각된다. 이시기의 적도의 태평양 해수면온도의 아노말리는 약했다. Park등(1995)의 연구에서 티벳고원을 넘어온 편서풍의 변화와 관련한 산악효과가 이러한 이례적 순환 패턴의 발달의 주요인으로 지적되었다.

200 hPa 에디장(eddy field)을 보면(Fig.3), 우리나라를 포함한 동아시아 동단과 스칸디나비아에 강한 양의 에디가 장기간 정체해있다. 스칸디나비아 블로킹은 동아시아블로킹보다 10일 정도 먼저 형성되어 약 50일정도 지속되었으며, 동아시아의 블로킹도 40일 정도 지속되었다(Fig.4). 정성적 분석은 앞으로 계속될 실험을 통해 연구될 것이다.

3. 실험 방법

GCM을 이용하여 대기 현상을 모의하려는 실험은 대체로 두 가지 범주로 나눌 수 있다(Park, 1990). 첫 번째 그룹은 실제 상황을 경계 조건으로 하는 실험이다. 즉, 관측된 SST, 실제의 눈과 빙하의 분포 자료, 지형 자료 등을 사용한 실험으로 일반적인 기후 문제를 다루기 위해 시작되었다. 두 번째 그룹은 실험 목적에 적합한 이상적 경계 자료를 사용한 간단화된 실험으로 이론적 기반을 세우기 위한 목적으로 수행되었다. GCM 실험 결과와 관측 자료 사이에는 거리가 있지만, 두가지 경우 모두 대기 순환과 기후의 여러 문제의 이론적 기반을 세우기 위한 풍부한 정보를 제공했다.

이 연구에서는 미리 정해진 해수면 온도를 모형의 하층 경계 조건으로 두가지 실험을 하였다. 첫 번째 실험은 SST의 기후값을 사용하였고, 두 번째 실험에서는 관측된 '93년, '94년의 SST를 사용하여 1993년 1월 5일부터 시작하여 24개월간 적분하였다. 기후 모형이 초기치에서 출발하여 1년쯤 적분되면, 초기자료의 기억은 완전히 사라지고 경계조건에 의해서만 변화한다. 기후값을 사용한 control run과

관측된 SST를 사용한 실험 결과를 비교하여 모형의 SST에 대한 민감도를 보고자 한다.

4. 결과

Fig.5 와 Fig.6은 GEOS GCM으로 모의된 실험 결과로, 각각 강수량과 200 hPa의 고도의 에디이다. 결과들은 관측된 필드를 비교적 잘 모의하고 있는 것으로 보인다. 그러나 200 hPa의 고도의 에디들은 실제보다 상당히 증폭된 값으로 나타났다. 계속되는 실험을 통해 모형의 defency를 보완하는 방법을 연구하게 될것이다.

이상 기상 현상들은 농업, 수자원, 전력 수요, 산업 등의 모든 사회, 경제 활동과 자연 생태계 등에 큰 영향을 주고 있다. 기상 재해로 인한 경제적 손실과 정확한 기상 정보가 산업 경제에 주는 이득을 고려할 때 장기 예보 또는 기후 예보 향상으로 얻게 되는 기상 정보의 경제적 가치는 매우 크다고 할 수 있다.

참고문헌

Bloom, S.C., L.L. Takacs, and E. Brin, 1991 : A scheme to incorporate analysis increments gradually in the GLA assimilation system. Ninth Conf. on Numerical Weather Prediction, Denver, CO, Amer. Meteor. Soc., 110-112.

Burridge, D.M. and J. Haseler, 1977 : A model for medium range weather forecasting-adiabatic formulation, Tech. Report. No. 4, European Center for Medium Range Weather Forecasts, Brachnell, Berkshire, UK.

Clarke, R. H., 1970 : Observational studies in the atmospheric boundary layer. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 96, 91-114.

Davies, R. E., 1976 : Predictability of sea surface temperature and sea level pressure anomalies over the Northern Pacific Ocean. J.Phys.Oceanogr., 6, 249-266.

Fox-Rabinovitz, M., H. M. Helfand, A. Hou, L. L. Takacs, and A. Molod, 1991 : Numerical experiments on forecasting, climate simulation and data assimilation with the new 17 layer GLA GCM. Ninth Conference on Numerical Weather Prediction. 21-25 October 1991, Denver, CO, 506-509.

Helfand, H. M. and S. D. Schubert, 1994 : Climatology of the simulated Great Plains low-level jet and its contribution to the continental moisture budget of the United States. J. climate, submitted.

Hore.J.D.,and J.M.Wallace, 1981 : Planetary scale atmospheric phenomena associated with the southern oscillation. Mon.Wea.Rev.,109,813-829.

LauN.C. and M. J. Nath, 1994: A modeling study of the relative roles of tropical and extratropical SST anomalies in the variablity of the global atmosphere-ocean system. J. Cli., 7, 1184-1207.

Meador, W. E., and W. r. Weaver, 1980 : Two-stream approximations to radiative transfer in

planetary atmospheres : A unified Description of existing methods and a new improvement. J. Atmos. Sci., 37, 630-643.

Moorthi, S., and M. J. Suarez, 1992 : Relaxed Arakawa Schubert : A parameterization of moist convection for general circulation models. Mon. Wea. Rev., 120, 978-1002.

Namias,J., 1969 : Seasonal interaction between the North Pacific Ocean and the atmosphere during the 1960s. Mon.Wea.Rev.,97,173-192.

Ratcliffe,R.A.S., and R. Murry, 1970 : New leg associations between North Atlantic sea temperature and European pressure applied to long-range weather forecasting. Quart.J.Roy.Meteor.Soc.,96,226-246.

Reynolds, R. W., 1988 : A real time global sea surface temperature analysis. J. climate, 1, 75-86.

Sadourney, R., 1975 : The dynamics of finite difference models of the shallow water equations, J. Atmos. Sci., 32, 680-689.

Schemm, J., S. Schubert, J. Terry, and S. Bloom, 1992 : Estimates of monthly mean soil moisture for 1979-1989. NASA Tech. Memo. No. 104571, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771.

Schubert, S. D., J. Pfaendtner and R. Rood, 1993 : An assimilated data set for Earth Science applications, Bull. Am Met. Soc., 74, 2331-2342.

Schubert, S., M. Suarez, C. K. Park, and S. Moorthi, 1993 : GCM Simulations of intraseasonal variability in the Pacific/North American region. J. Atmos. Sci., 50, 1991-2007.

Suarez, M. J., and L. L. Takacs, 1994 : Documentation of the Aries/GEOS Dynamical Core Version 2, NASA Tech. Memorandum 104606-Vol(in press), NASA, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD.

Takacs, L. R., A. Molod and T. Wang, 1994 : Documentation of Goddard Earth Observing System(GEOS) General Circulation Model-Version 1 : Technical Report Series on Global Modeling and Data Assimilation, NASA Technical Memorendum No 104606, Vol. 1, pp 100.

Yaglom, A. M., and B. A. Kader, 1974 : Heat and mass transfer between a rough wall and turbulent fluid flow at high Reynolds and Peclet numbers. J. Fluid Mech., 62, 601-623.

Wallace,J.M., C.Smith and Q.R.Jiang, 1990: Spatial patterns of atmosphere/ocean interaction in the northern winter. J.Cli., 3, 990-998.

Weare, B.C., A.Navato, and R.E. Newell, 1976 : Emphirical orthogonal analysis of Pacific Ocean sea surfaces temperatures. J. Phys.Oceanogr., 6,671-678.

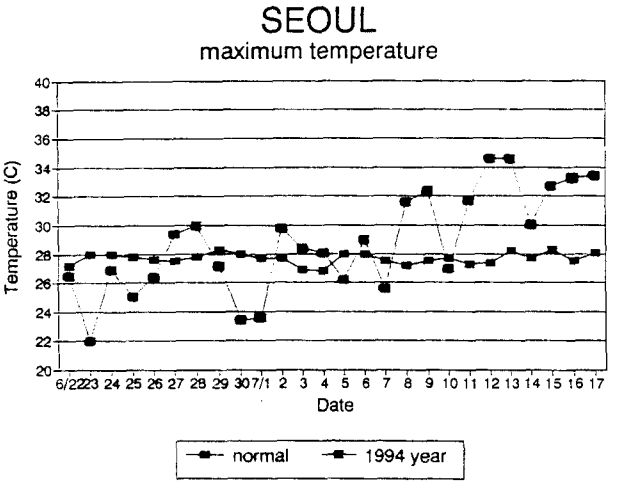

Fig. 1 Daily maximum temperature in July 1994

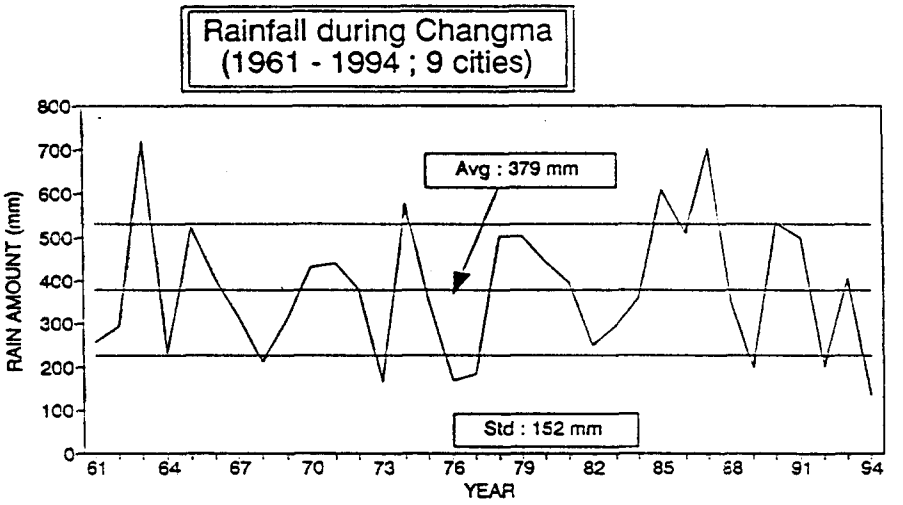

Fig. 2 Rainfall amount during Changma period (1961-1994) of 9 cities average

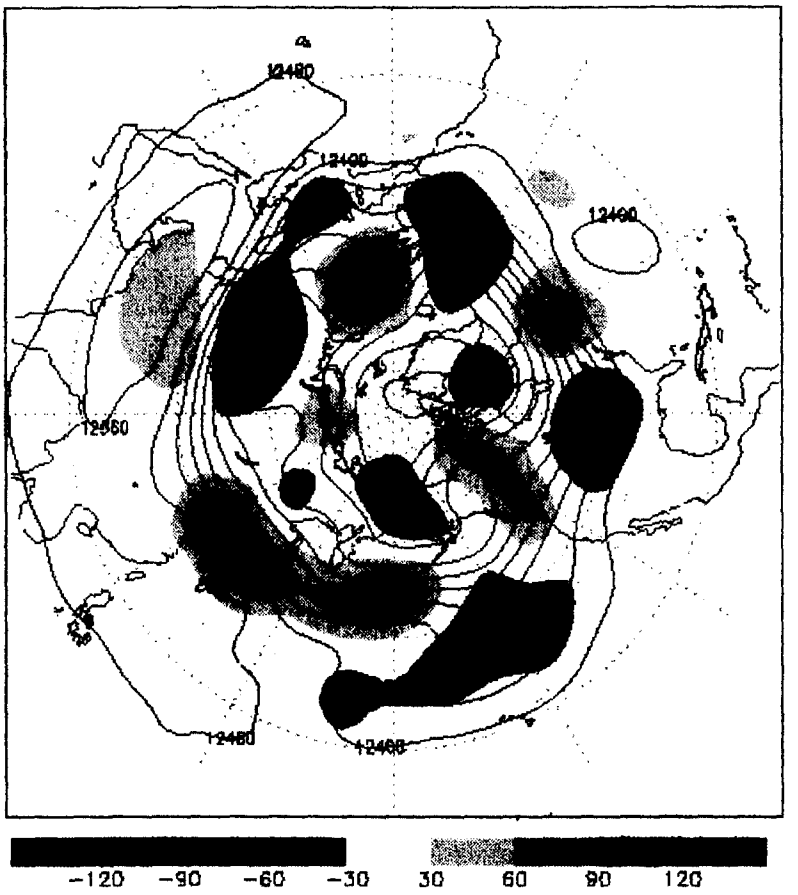

Fig. 3 GEOS 200 hPa Height Anomaly in July 1994
(after Park, 1995)

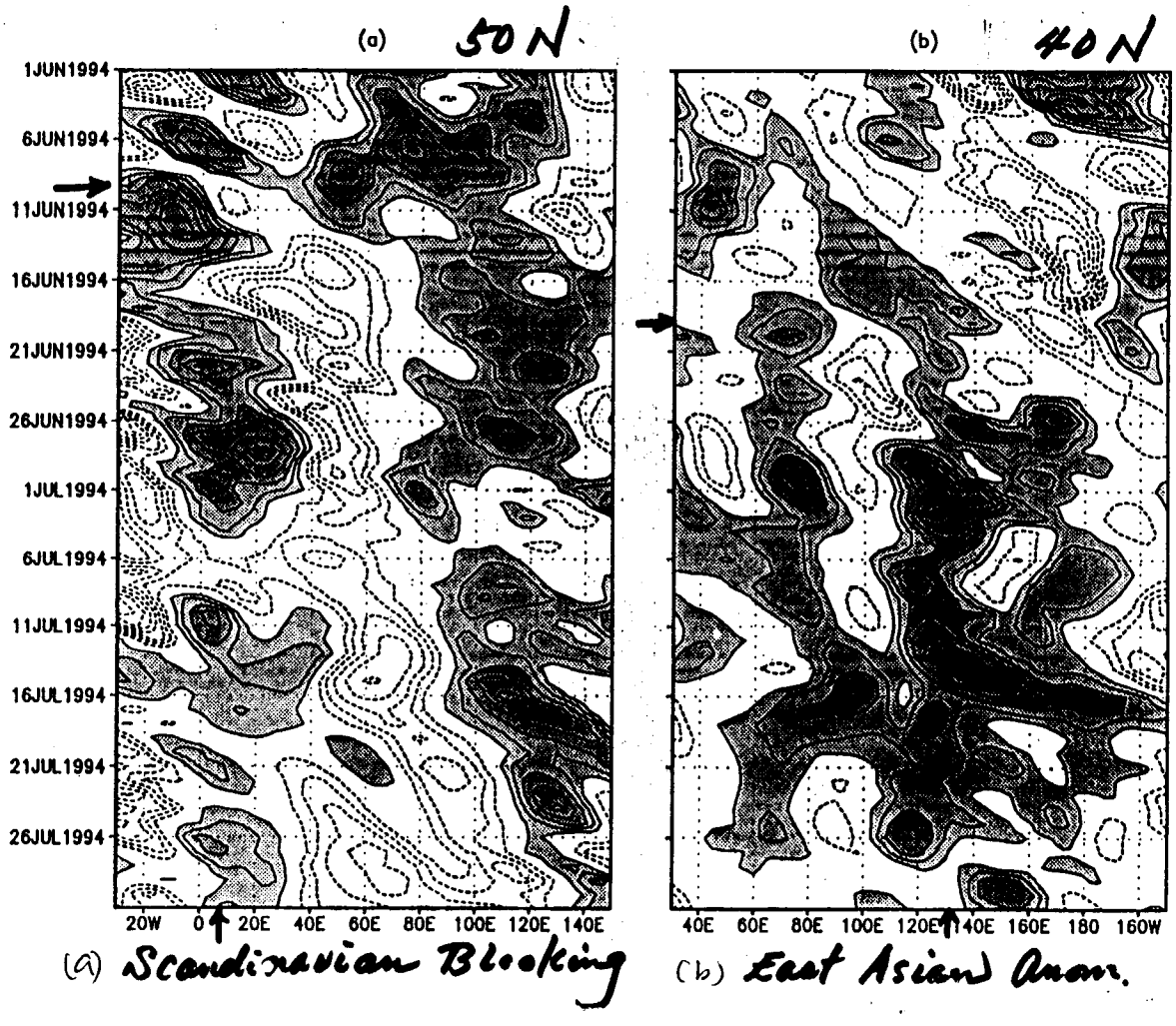

Fig. 4 Time-longitude section of 200 hPa eddy Height

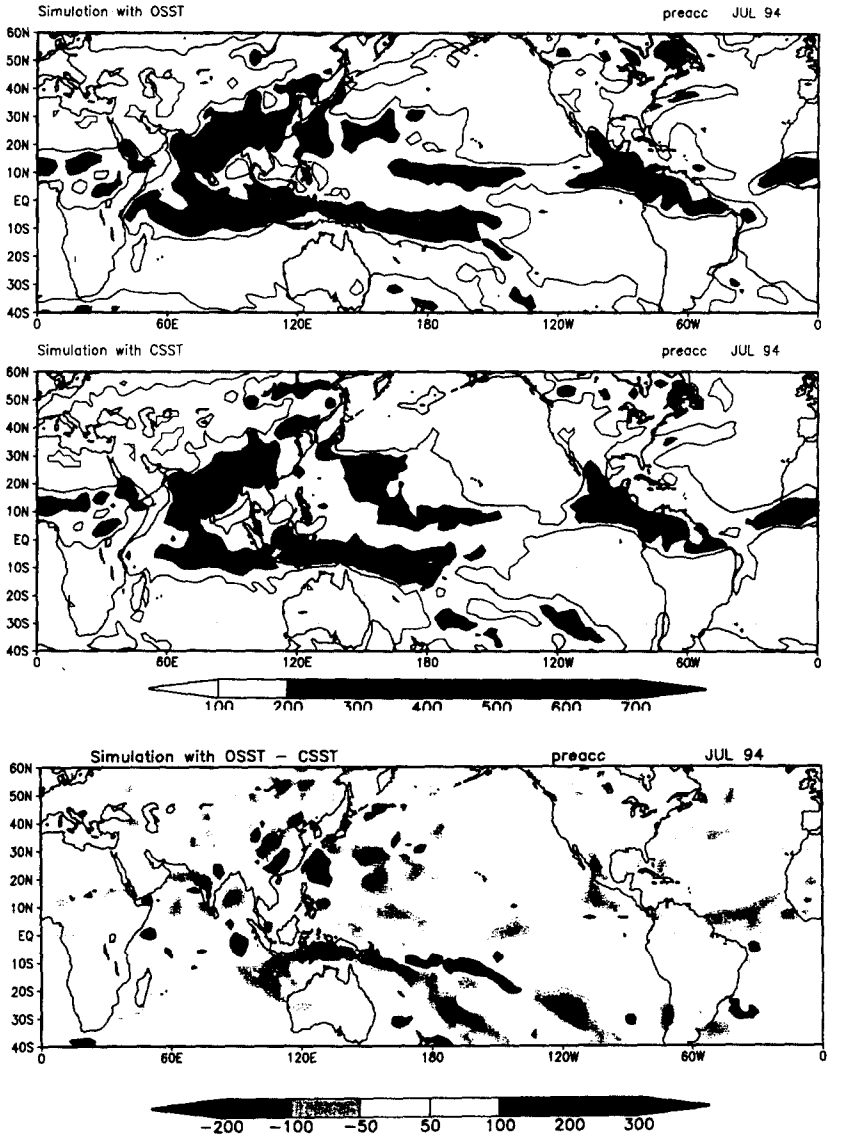

Fig. 5 Simulated precipitation field in July 1994

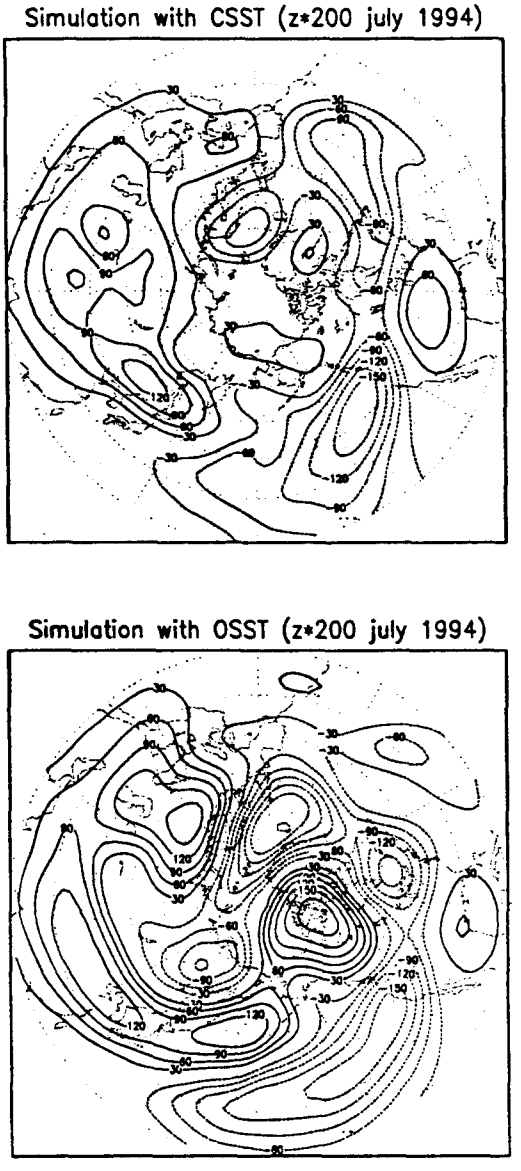

Fig. 6 Simulated 200 hPa Height field in July 1994