

자연과의 대화수단 - 슈퍼컴퓨터 - 기상연구소 연구용 주전산기 도입에 즈음하여 -

차은정·류정희·오재호 (기상연구소)

기상연구소에서는 2000년 2월 중에 중·단기 수치예보 시스템 연구, 태풍 감시·예보 기술 개발 등의 예보 현업에 필요한 실용화 사업과 순수 기상 연구를 위하여 연구용 주전산기를 설치, 활용할 예정이다. 현재 연구용 주전산기는 기상청 3층 CPU실에 설치 중에 있으며 약 2주일 정도 안정도 검사를 실시한 후 앞으로 연구원들의 활발한 연구활동을 지원할 것이다.

주전산기의 기종(그림 1.)은 Hewlet Packard V2500로서, 속도는 초당 1.7억번(1.7Gflops)의 단위연산을 수행할 수 있는 CPU 48개가 연결된 총 81.4 Gflops 병렬컴퓨터로써, 메모리는 24 Gbyte,

hard disk는 200 Gbyte이다.

주전산기 도입으로 계산 시간을 단축할 수 있어서 고속연산과 다수의 작업을 동시에 처리할 수 있는 능력을 최대한 이용할 수 있게 되었다. 따라서 우리가 기대하는 효과는 단·중·장기 예보 수치모델을 통해 획기적인 예보 정확도 향상이며 이는 기상청의 관련 업무에 효과적인 개선 효과를 줄 수 있을 것이다. 아울러 기상연구소 주전산기 도입만에서는 연구원의 보다 편리하고 능률적인 연구용 주전산기 활용이 가능하도록 지원을 계속할 것이며 연구용 주전산기를 이용한 연구원들의 향상된 연구 성과를 기대한다.

날씨를 예보하고 기후변화를 연구, 이상기상의 원인을 찾아내는데 왜 슈퍼컴퓨터가 필요할까? 이 질문에 대해서 한마디로 대답하기는 참으로 어렵다. 우선 이상기상에 의한 경제학적 손실에 대하여 알아보자. 집중호우에 의한 재해는 가장 빈번하게 발생하는 돌발적인 기상재해의 하나로서 인간의 생존 뿐만이 아니라 사회발전에 심각한 피해를 준다. 매년 우리 나라 각 지역에서 호우에 의한 재해가 발생하여 큰 피해를 초래한다. 특히 1998년은 기록적인 호우가 장기간 계속되었다. 삼성경제연구소에서 발간한 「기상재해의 경제학」에 의하면, 7월말과 8월에 걸쳐 거의 20여일 동안 전국을 돌며 쏟아 부은 집중호우로 인한 경제적 손실이 약 8조원(직접피해 1조 5,000여억원, 간접피해 6조원) 가량 발생

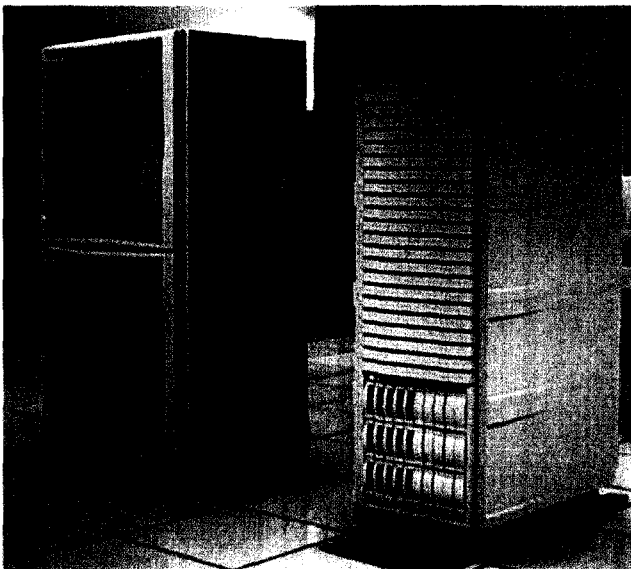


그림 1. 연구용 주전산기(좌로부터 본체, 디스크어레이, 콘솔)

하였다.

발생할 수 있는 집중 호우에 대한 예측 능력의 향상은 이에 의한 피해액을 상당히 절감할 수 있을 것이다. 집중 호우는 농경지를 침수시켜 농업소득을 급격히 감소시키고, 또한 물가를 폭등시키는 등 경제·산업의 전반에 큰 피해를 가져올 수 있다. 우리 나라의 경우에 지난 10년간(1983~92년) 호우에 의한 재산 피해는 연평균 2,500억원으로 집계되었는데, 만일 이상기상 예측 능력의 향상으로 1% 피해가 경감된다면 매년 25억원을 절감할 수 있을 것이다. 1998년 노벨경제학상에는 기아와 빈곤 문제에 초점을 맞춘 경제학의 틀을 확립한 공헌한 학자가 수상하게 되었는데, 기아와 빈곤 문제는 기후와도 밀접한 관련이 있음은 주지의 사실이며, 따라서 이상기상에 대한 예측 기술의 개발은 이상기상이 경제, 산업에 미치는 영향을 크게 완화시킬 수 있을 것이다. 또한 지역 자치시대를 맞이하여 지역 경제·산업이 기후 시스템의 변화로 인한 이상기상에 취약한 부분에 기반을 두고 있을 경우 이를 조기에 진단하고 조정 및 재편하여 지역 경제의 활성화 및 안정화를 꾀할 수 있는 기술의 개발이 더욱 요구되고 있다. 기상재해를 저감시킬 수 있는 가장 효과적인 방안이 바로 슈퍼컴퓨터를 이용한 각종 수치모델실험이다.

수치모델실험이란 컴퓨터 즉, 가상공간 안에서 실제 대기를 재현한 모델을 이용하여 날씨를 예보하고 기후변화를 연구하는 것이다. 컴퓨터는 하드웨어, 모델은 소프트웨어라고 볼 수 있고, 수치예보 정확도는 컴퓨터와 모델의 성능 두 가지 요소에 의하여 좌우된다. 수치모델실험은 어떻게 시작되었을까? 대기의 운동을 지배하는 방정식은 이미 19세기에 거의 알려져 있었고, 이 지배방정식을 풀어서 날씨 예보를 한다는 아이디어는 근대기상학의 아버지라고 불리는 노르웨이의 기상학자 V. Bjerknes에 의하여 처음으로 제안되었다. 이 아이디어를 처음으로 실행에 옮긴 사람은 영국의 기상학자 L.F. Richardson이다. 그는 세계 제 1 차 대전 중 부상을 당하여 병원에서 치료를 받게 되었는데, 이 때 평소 흥미를 가졌던 기상예보분야에 관심을 가졌다. 이미 밝혀진 비선형 편미

분방정식들을 간단화한 유한차분법을 사용하여, 주어진 관측자료(초기조건)로부터 계산기에 의하여 1일후의 기압변화 예측을 시도하였다.

1910년 5월 20일을 초기조건으로 사용하여 유럽의 예보를 수치적으로 계산하였다. 물론 컴퓨터가 없던 시대였기 때문에 손으로 계산하였고, 6시간 예보에 6주간이 소요되었다. 이 결과는 1922년에 발표한 Weather Prediction by Numerical Process(수치 계산에 의한 일기예보)하고 하는 책의 일부에 발표되었지만, 6시간 동안 기압변화량이 145 hPa 라고 하는 비상식적으로 큰 기압변화가 일어났기 때문에 실패로 끝났다. 그러나 이 실패는 수치예보기술의 미숙에 의한 것이지 그의 기본원리가 잘못된 것은 아니었다. 더욱이 그는 64,000명을 원형극장에 모아놓고 열대를 제외한 세계의 기상을 수치 예보한다는 구상을 발표하였다. 인간을 반도체 소자로 바꾸어 생각하면 바로 현재의 컴퓨터가 된다. 그러나 L.F. Richardson의 이러한 구상은 컴퓨터의 발명을 기다려야만 했다. 그러다가 세계 제2차 대전후 현재 사용하고 있는 컴퓨터 발명의 아버지인 물리학자 Von Neumann은 프린스턴대학 고등연구소에 기상학자들을 모아놓고 수치예보 실험에 착수하였다. 사용된 계산기 ENIAC은 메모리 23개로 현재의 개인용 컴퓨터 성능에도 미치지 못하는 것이었다. 사용된 수치예보모델도 270개의 격자점을 이용한 간단한 것이었지만, 기상현상에 대한 이해의 진보덕으로 L.F. Richardson의 실패는 반복하지 않았다. 1950년에

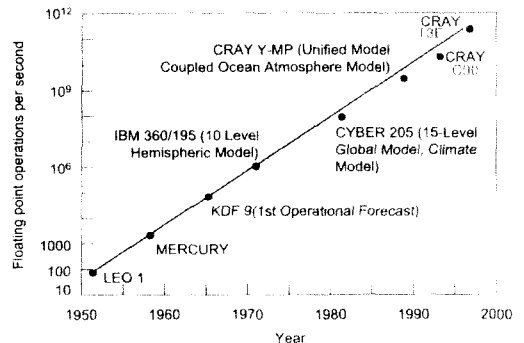


그림 2. 주요예보센터에서 사용했던 컴퓨터 성능의 발달

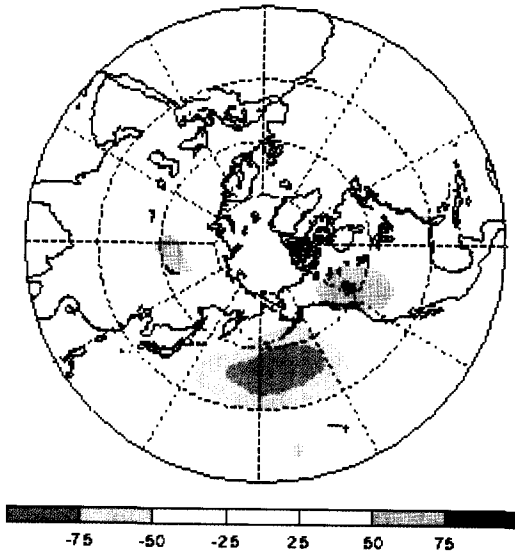


그림 3. 1월에 지배적인 원거리 상관패턴, 태평양-북미 패턴(PNA: Pacific North America)

이 결과가 발표됨으로써 컴퓨터에 의한 기상예측에 인류의 제1보를 내디딤게 되었다. 그 후 컴퓨터는 눈부시게 발전을 거듭하였고 컴퓨터의 발전에 따라 수치모델 역시 초고속 성장을 이루게 되었다. 그리하여 1950년대부터 각국에서 날씨 예보에 수치모델을 본격적으로 이용하게 되었다. 그림 2.는 1950년대부터 현재까지 기하급수적으로 증가해 온 컴퓨터의 계산 속도를 보여주고 있는데 최근의 컴퓨터의 계산 속도는 최초의 그것에 비해 약 백만배 이상이나 빨라졌다. 컴퓨터의 계산속도가 빨라짐으로 인해 수치모델들이 재현해낼 수 있는 운동의 규모와 관련된 분해능(resolution)이 향상되었고 더 복잡한 물리과정들을 표현할 수 있는 모수화 과정들의 사용이 가능하게 되었다.

날씨와 기후예보를 위한 수치모델들은 대기, 해양, 해빙, 그리고 육지 위에서 일어나는 운동과 물리과정을 지배하는 물리학 및 역학을 묘사하는 기본적인 수학적 방정식들을 기초로 하고 있다. 이들 방정식들은 시간에 대한 미분방정식의 형태로 되어 있어 초기의 대기 상태를 가지고 적분을 하면 다음 시간단계에서의 대기의 상태를 알 수 있기 때문에 우리가 알기 원

하는 시간까지 적분을 함으로써 24시간 후, 또는 수일 후의 날씨를 예측할 수 있게 된다. 이처럼 수치모델을 이용하여 실제 또는 이상적인(ideal) 상태의 기상현상 또는 기후를 모의하거나 예측하는 것을 모델링이라 한다. 물론 날씨 혹은 기후 예보를 하는 현업에서 이러한 수치모델에만 의존하는 것은 아니지만 물리적인 법칙에 의해 객관적이고 정량적인 정보를 제공한다는 점에서 수치모델의 역할은 중요하다고 할 수 있다.

수일 이상의 날씨를 예보하기 위해서는 전구(global) 모델 즉 대기순환모델(Atmospheric General Circulation Model)이 필요하다. 예를 들면 오늘의 적도 또는 남반구의 순환은 수일 이내에 북반구의 중, 고위도 날씨에 영향을 미치기 때문이다. 그림 3.은 특히 1월에 지배적인 원격(teleconnection) 상관패턴 중 PNA 패턴을 보여 준다. 엘니뇨와 관련된 원격 상관패턴으로 잘 알려진 태평양-북미 패턴

Total precipitation (mm/day)

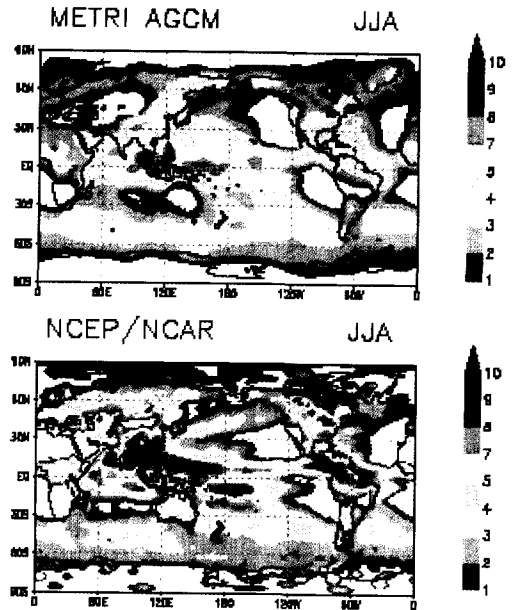


그림 4. METRI AGCM(기상연구소 대기순환모델)에 의해 모사된 여름철 강수량 분포와 NCEP 재분석 강수량 자료

(PNA : Pacific North America)의 경우 북태평양과 북미 대륙을 거쳐 북미 대륙의 남서지역에서의 순환이 서로 높은 상관성이 있음을 보여준다.

대기대순환모델에서 대기의 역학 및 물리과정을 묘사하는데 사용되는 기압, 온도, 습도 그리고 바람 등과 같은 변수들은 3차원의 격자점에서 기술되는데 보통 수평 및 연직 격자간격은 각각 약 수백(100~500)km와 수km 정도이며 격자간격의 조밀도는 현존하는 컴퓨터의 능력에 제한을 받는다.

기상연구소 대기대순환 모델(METRI AGCM : Meteorological Research Institute Atmospheric General Circulation Model)의 경우 수평방향으로는 5도(경도)×4도(위도)의 격자간격을 가지고 모델 꼭대기를 1 hPa로 성층권을 포함하는 연직 17층으로 이루어져 있다. 그림 4.는 METRI AGCM에 의해 모사된 여름철 강수량과 미국 기상청 (NCEP : National Centers for Environmental Prediction)의 재분석자료와 비교한 것이다. 전체적으로는 유사한 분포를 보이나 재분석자료에 비하여 열대수렴대에서 강수량이 적게 표현되었다.

컴퓨터 계산속도의 향상과 더불어 수치모델의 분해능의 증가, 물리과정에 대한 모수화 방법의 개선, 그리고 더 다양하고 정확한 자료로부터 구한 초기자

료의 사용 등은 수치예보결과를 상당히 향상시켰다. 그림 5.는 영국 기상청의 예보 모델에 의한 British Isles 부근의 지표기압의 오차로서 평균적으로 현재의 3일 예보 능력은 과거 10년 전의 2일 예보 능력 수준까지 향상되었음을 보여준다. 그렇다면, 컴퓨터의 계산속도가 더 빨라지고, 관측 기술의 발달에 의한 더 완벽한 초기자료의 사용이 가능해지며, 수치모델도 거의 완벽에 가깝게 발달된 미래의 어떤 순간에는 수치예보결과에서도 그 만큼의 향상을 기대할 수 있을까? 그림 6.의 (a)는 현재 영국 기상청에서 사용하고 있는 예보모델의 오차를 예보기간의 함수로 나타낸 것이고, (b)와 (c)는 각각 더 완벽한 모델과 더 완벽에 가까운 초기자료를 사용했을때의 결과를 보여준다. (b)와 (c)의 경우 오차가 감소하긴 했으나, 20일 이상의 예보기간에서는 여전히 예보속련도의 한계를 보여준다. 이 기간의 예보속련도의 한계는 대기내에서 비선형적으로 일어나는 일련의 과정들에 기인한 대기의 무질서(chaos)적인 면과 상당히 관련이 있다. 하지만 계절예보를 포함한 중장기 예보가 회의적인것만은 아니다. 비록 자세한 날씨예측은 어려울 지라도 평균적인 날씨의 예측은 어떤 지역에서는 가능한데, 이것은 대기에 비해 훨씬 긴 기억용량을 가지는 해양이 대기에 미치는 영향 때문이다. 따라서 해수면온도를 경계조건으로 수년 혹은 수십년

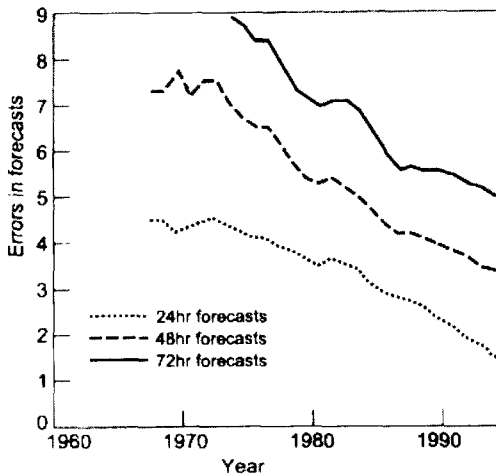


그림 5. British Isles 지역에 대한 영국기상청 예보모델 결과(지표기압)의 오차

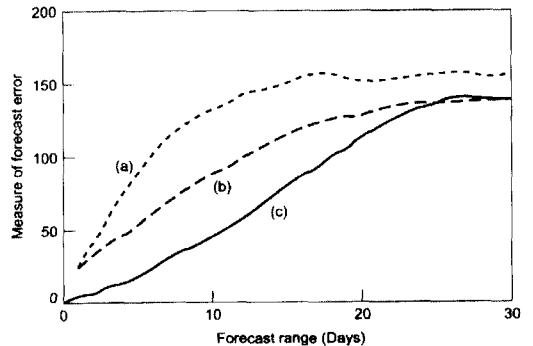


그림 6. 예보속련도의 잠재 가능성. (a)현 영국기상청 예보모델의 결과, (b)같은 초기조건에 더 완벽한 모델을 사용했다고 가정했을때의 결과, (c)더 완벽한 초기조건을 사용했을때의 결과

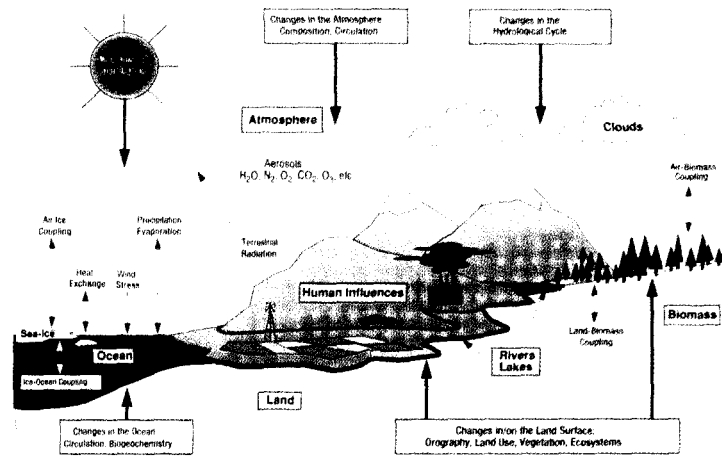


그림 7. 지구기후시스템의 도식

의 기후를 대기대순환모델로서 어느 정도 재현해 낼 수 있는 것이다. 하지만 기후는 대기 자체의 변동에만 의존하는 것이 아니라 해양, 육지, 빙권, 그리고 생물권과의 복잡한 상호작용(그림 7.)을 통하여 그 평형점을 찾아 계속 진화하고 있다. 특히 현 모델들에서 사용되고 있는 구름-복사 상호작용, 대기-해양 상호작용 등의 모수화 과정은 기후 모델링의 불확실성과 상당히 관련되어 있다. 현존하는 대기대순환모델들에서는 아직 그림 7.에서와 같은 복잡한 상호작

용들을 완전히 다루고 있지는 못하지만, 해양 및 간단한 생물권이 결합된 결합모델링에 대한 연구는 현재 활발히 진행되고 있고 (Robertson et al., 1995, Varejao-Silva et al., 1998 등) 궁극적으로는 5개 기후계의 요소들을 하나의 기후계로서 다루는 기후 모델이 개발되어야 할 것으로 본다.

자연은 항상 우리에게 무엇인가를 말하고 있고 대화를 바라고 있다. 그러나 인간은 자연이 무엇을 말하려고 하는지 모른다.

자연을 이해하고 자연과 더불어 살아가려면 자연과 대화하는 방법을 배워야 한다. 가장 효율적인 대화수단으로 슈퍼컴퓨터를 들 수 있다. 일찍이 미국의 기상학자 Lorenz는 대기의 카오스적인 특성을 다음과 같이 표현하였다. "Does the flap of a butterfly's wings in Brazil set off a tornado in Texas" 슈퍼컴퓨터를 이용하여 대기의 질서를 규명할 수 있는지 기대해 본다. ●

감사의 글

이 연구는 과학기술부 지원으로 수행하는 중점국가연구개발사업(온실가스저감기술연구)의 일환으로 수행되었습니다.

〈참고 문헌〉

1. IPCC, 1995 : Climate Change 1995 : The Science of Climate Change, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell Eds., Cambridge University Press, pp. 572.
2. Robertson, A.W., C.-C.Ma, C.R. Mechoso and M. Ghil., 1995 : Simulation of the tropical-Pacific climate with a coupled ocean-atmosphere general circulation model. Part I : The seasonal cycle. J. Climate, 8., pp. 1178-1198.
3. Varejao-Silva, Mario Adelmo, Sergio H. Franchito, Vadlamudi Brahmananda Rao, 1998: A Coupled Biosphere-Atmosphere Climate Model Suitable for Studies of Climatic Change Due to Land Surface Alterations. J. Climate, 11, No. 7, pp. 1749-1767.