

“제3차 아시아 몬순에 관한 국제 학술 회의(The Third International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME)”의 결과 보고

변영화 · 권원태 · 오재호 (기상연구소 예보연구실)

1. 개요

1997년 3월 26일부터 28일까지 제주도 서귀포 KAL 호텔에서 기상연구소 주최, GAME(GEWEX Asian Monsoon Experiment) 국제 사무국 주관, 한국기상학회와 한국물학술단체연합회 후원으로 “제3차 아시아 몬순에 관한 국제 학술 회의”가 개최되었다. 이 학술 회의는 3월 24일, 25일에 있었던 “제2차 GAME 국제 과학 위원단(ISP, International Science Panel) 회의”에 이어 진행되었으며, 일본, 중국, 미국, 러시아, 에에태국 등 15개국에서 약 150여명이 참가하여 각 국의 아시아 지역의 몬순 연구 현황에 대한 발표와 함께 1998년으로 계획된 집중관측 실험기간(IOP, Intensive Observation Period)의 추진 전략 및 실행을 위한 여러 가지 정보들을 교환하였다.

3월 26일 오전 GAME ISP 의장인 일본 Tsukuba 대학 Yasunari 교수의 개회사와 GAME 지역위원회 의장인 홍성길 기상연구소장, 한국 몬순 위원단장인 연세대학교 김정우 교수의 환영사를 시작으로 3일동안 지속된 아시아 몬순에 관한 국제 학술 회의는 크게 6개의 부문으로 나누어 진행되었으며 각 부문별 내용은 다음과 같다.

- 1부. GAME의 전략과 다른 과제와의 공동 연구 계획(The Strategy of GEWEX/GAME and Collaborations with Other Projects)
- 2부. 진행 연구(Process Studies)
- 3부. 지역 에너지 및 물 순환 (Regional Energy and Water Cycles)

4부. 아시아 몬순의 에너지 및 물 순환 (Energy and Water Cycles in Monsoon Asia)

5부. 대기 대순환모델 연구 (GCM Studies)

6부. 위성 관련 연구 (Satellite Studies)

학술 회의에서 발표된 논문들은 총 106편이며, 주요 내용으로는 아시아 몬순의 에너지, 물순환 및 관측 연구, 아시아 몬순의 경년변동과 관련된 물리과정 연구, 지표면-대기 상호작용과 수문과정에 있어서 생물권의 역할, 대규모 수문모델, 중규모 대기모델 및 이들간의 결합, 몬순에 관한 전지구 모델 및 분석 연구, 아시아 몬순의 강수량과 수자원의 계절 예측, 그리고 GAME 및 국제공동 관측실험의 집중 관측을 위한 학술적 문제와 국제 협력 사항들에 관한 것이었다.

2. 학술 회의의 주요 결과

총 6개 부문으로 나누어 진행된 아시아 몬순에 관한 국제 학술 회의는 첫째 날인 26일에 GAME의 추진 전략과 다른 과제와의 공동 연구 계획, 진행 연구에 관한 발표가 있었다. 27일에는 지역 에너지 및 물 순환에 대한 발표와 활발한 질의·응답이 이루어졌으며, 마지막 날인 28일에는 아시아 몬순의 에너지 및 물 순환에 대한 내용과 함께 대기 대순환모델 연구, 위성 관련 연구에 대한 내용이 발표되었다. 다음은 각 부문별로 발표된 내용 중 몇 가지를 간추린 것이다.

2.1 제 1 부 : GAME의 추진 전략 및 다른 과제와의 공동 연구 계획(The Strategy of GEWEX/GAME and Collaborations with Other Projects)

- T. Yasunari (Japan) : Scientific Strategy of GAME/SCSMEX Joint IOP

GAME과 SCSMEX(South China Sea Monsoon Experiment)는 1998년 5월과 7월에 걸쳐서 합동 집중 관측 실험(IOP)을 할 계획이다. 이 IOP는 아시아 여름 몬순의 에너지·물 순환에 대한 약 50km×50km의 격자 간격의 고품질 4차원 동화(4DDA) 자료를 얻는 것에 목표를 두고 있으며 이 자료들은 대류와 강수, 지역 순환계의 일변화 및 계절 변동성을 밝히는 데 도움이 될 것이다. 특별히 몬순 지역에서의 대기-지면 상호작용에 대해서 에너지와 물 균형의 일변동에 관한 정량적 예측이 매우 중요하다. 예를 들어 티벳 고원에서의 PBL 및 지표면 대기 변수와 수문 변수들의 일변화 진폭은 몬순 시작 시기와 몬순 시기에 매우 크며, 이는 티벳 고원에서의 대기에서 비단열 가열과 수분 수지의 매우 큰 일변화로 특징지어진다. 그런데 일 2회(약 6LT와 18LT)의 티벳 고원에 대한 라디오존데 현업 관측망은 이 일변화를 잡아내지 못한다. 왜냐하면 일년 중 최고점에 도달하는 때인 몬순 시작 시기의 최고 가열 순간이 늦은 오후에 있기 때문이다.

합동 IOP에서는 한국과 동중국해, 황하 남부에 이르는 중국 평야와 티벳 고원, 남중국해, 남동 아시아와 남아시아의 북부 지역(인도, 방글라데시, 네팔 및 미얀마)에 이르는 지역에서 100여개소가 넘는 라디오존데 관측을 하루 4회 실시할 예정이다. 이 라디오존데 관측망뿐만 아니라 TRMM에 의한 강수 탐측과 GMS(140°E가 중심), FY-II(110°E가 중심), INSAT(80°E가 중심)과 같은 정지 위성에 의한 대류와 수증기 관측이 이 지역에서의 수문기상학적 매개변수의 일변화에 대한 많은 정보를 제공할 것이다.

- Z. Bolin (P.R.China) : Chinese GEWEX

Program and GAME/HUBEX

HUBEX(Huai River Basin Experiment)는 GAME 프로그램의 주요 실험 중 하나이다. GAME/HUBEX는 GEWEX의 준프로그램으로 GEWEX(Global Energy and Water Cycle Experiment)의 주요 목적은 대기와 지면, 바다에서의 에너지와 물순환 및 그 변화를 관측하고 이해하며 모사하는 것이다. 이를 기초로 기후 모델에서의 지면과 수문 과정이 특별히 개선될 것이고 이는 앞으로 더 나은 기후 모델을 개발하기 위한 관측과 과학적인 기초를 제공할 것이다. 중국에서의 HUBEX는 GAME 프로그램 하에서 실행된다. 이 중국 GAME/HUBEX 프로그램(1997-2001)은 이미 시작되었고, 중국 국립 자연 과학 재단으로부터 재정 지원을 받고 있다.

주요 연구 과제는 다음과 같다. (1) 양쯔-황하강 유역의 몬순 기간동안의 에너지와 물 순환에 대한 연구, (2) 동아시아(황하강 유역에 집중하여)에서의 에너지와 물 순환에 대한 연구, (3) 에너지와 물 순환에 대한 구름과 물 분포 및 대기 복사에 대한 영향, (4) 대기 대순환 모델의 개선. 이 과제들은 농업과 수자원 그리고 생태계에 대한 기후 변화의 영향을 계산하기 위해 대기 대순환모델과 연계된 수문 모델, 농업 모델, 생태계 모델을 개발한다.

HUBEX의 집중 관측 실험은 1998년 5월부터 8월에 있을 예정이다. IOP는 각 기간동안 3주씩 두 번으로 계획하고 있다. 전체 관측 실험 전에 1-2년간의 예비 연구가 계획되어 있고, 이 실험에서는 한국과 중국, 일본이 함께 수행할 것이다. 가능하면, IOP 실험은 1999년도에도 계속할 것이고 이는 1998년 말에 결정을 할 것이다.

- V. M. Kotlyakov and A. G. Georgiadi (Russia) : Russian Siberian Subprogramme of GEWEX Asian Monsoon Experiment

지난 몇 년동안 많은 나라의 과학자들은 북부 영구 동결 지역(permafrost region)에 대한 에너지 및 물

순환에 관한 양상을 연구해왔다. 여기서의 환경 조건은 큰 기후 변동성의 영향 아래 있으며 이 조건들은 영구 동결 지역의 에너지, 물 순환의 강한 규칙성에 대한 원인이 된다. 불행하게도 지금까지 이 과정에 관한 주요 특이 사항은 충분히 연구되지 않았다.

몇 가지 국제적 프로그램들이 이 영구 동결 지역의 조건 아래에서 에너지·물 순환의 특이성에 관해 주목하고 있으며 그 중 하나가 바로 GEWEX 아시아 문순 실험의 시베리아 준프로그램(Siberian subprogramme)이다. 이 시베리아 준프로그램은 러시아와 GAME에 관한 일본 국립 위원회(Japan National Committees on GAME) 사이에 긴밀한 협력을 유지시켜 주고 있다. GAME/Siberia 안의 러시아 연구 프로그램의 주요 방향은 다음과 같다.

- 툰드라, 저지대, Taiga 산맥에서의 에너지·물 순환의 양상(실험 및 국가 관측망 자료에 기초함)
- 시베리아의 대기 순환, 기후계, 에너지·물 순환의 경년 변화와 장기간 변동 연구
- 대기 대순환모델에서의 영구 동결 지역에 대한 지면-대기 상호작용 방법에 대한 개선과 검증
- 아격자 비균질성(subgrid heterogeneity)을 설명하는 에너지 및 물의 연직 이동에 관한 모델링
- 대,중,소규모 수역에 대한 물 순환의 모델링
- 지면 비균질성에 대한 에너지·물 순환의 민감도
- 기후 변화에 있어서 시베리아 기후 및 수문계의 민감도
- 기후 변화 영향 아래에서 시베리아 영구 동결 지역의 변화에 대한 전지구 및 지역적인 기후와 수문계의 민감도
- 지표면 변수에 대한 원격 탐사 감시와 GIS의 생산

• 이천우(기상청) : Intensive Observation of KMA

기상청 집중 관측의 목표는 중규모(meso- β scale)의 관측망을 지원하는 것에 있다. 인접 국가의 집중 관측 실험과 관련하여 관측 지역의 크기가 결정되었다. meso- α 규모의 영역은 한반도 및 그 인근해를 의미하며, meso- β 규모의 영역은 한반도의 주요

내륙 지방을 의미한다.

IOP를 성공적으로 달성하기 위하여 기상청은 준비기간을 3단계로 나누었다. 첫번째 기간은 '96년 하반기부터 '97년 7월까지의 IOP 준비기이고, 마지막은 '97년 하반기부터 '98년 4월까지의 준비기이다. 예비 관측 단계는 5일간 3단계로 구성된다. 이 단계 동안 기상청은 기기이동 및 인력에 대한 문제를 점검하고, IOP의 추진 및 추가적인 관측 여부에 관한 문제를 인식, 해결하기 위해 노력할 것이다.

IOP는 지표 기상 관측과 자동 기상 관측, 대기 복사, 고층 관측, 해양 관측, 위성 관측, 항공 기상 관측과 토양-수분 관측을 포함한다. 기상청은 이동식 라디오존데 1대와 Bi-static 레이더 1대, 합성 복사 장비 3대, 1대의 flux 관측용 AWS 그리고 표류 부이 1대를 설치할 계획이며, 1997년에 레이더 분석 시스템을 개선하고자 한다. 게다가 기상청은 1998년도엔 3대의 합성 복사 장비와 10개의 플럭스 관측 AWS, 그리고 2대의 표류 부이를 설치하기 위해 노력할 것이다.

기본적인 관측망 구성을 극대화하기 위해 41개의 지표 및 공항 기상 관측소가 1시간마다 관측을 수행할 것이며 38개의 보조 관측이 매일 8회로 증대될 것이다. 1998년의 IOP는 5월부터 9월까지로 잡혀있다. 매일 집중관측 추진·실무위원회가 여름 몬순의 전시기, 장마의 시작 및 장마 지속 기간, 장마의 시종시기와 태풍 영향 기간의 대기 순환을 관측하기 위해 10일간의 집중 관측 기간을 결정할 것이다.

2.2 제 2 부 : 진행 연구 (Process Studies)

- M. Aoki, T. Chimura (Japan), S. Boonyawat, S. Pukngam (Thailand), K. Musiaka and T. Oki (Japan) : Preliminary measurements of evapotranspiration and heat budget in GAME-Thai paddy field site.

Sukhothai시에서 약 10km 서쪽에 위치한 GAME-Thai AWS 관측 지점의 눈에 대한 증발산과 열수지의 예비 측정이 1996년 8월 19일부터 28일까지

지 수행되었다. 비는 약 20cm 정도였으며 일면적 지수는 0.5보다 작았다. 이 측정은 GAME-Thai 과제를 수행하기 위해 세워진 10m의 탑에서 Bowen ratio 기술을 이용하여 수행되었다. 처음 19일에서 22일까지의 기간에는 토양 표면이 물속에 가라앉지는 않았지만 축축하였고 23일부터 24일까지의 두 번째 기간에는 토양 표면이 말라있었다. 25일부터 28일까지 3번째 기간은 비에 의해 물속에 잠기게 되었다. 토양면에서 물표면까지의 최대 깊이는 27일에 10cm였다.

증발 에너지의 물 부피에 의해 표현되는 하루 전체 순복사량의 평균(Rn)은 첫째 기간과 셋째 기간에 대해 각각 5.0mm와 5.2mm였다. 하루 전체 증발산의 평균(1E)이 3.8mm와 4.0mm 인데 반해 1E/Rn의 비는 각각 76%와 75%였다. 그래서 1E/Rn 비에 대한 잠수된 물의 영향은 매일의 평균 오차에 대해서는 작았다. 그러나 잠수된 물은 증발산의 하루 변화에 영향을 미치었다. 아침에 증발산은 잠수된 물에서의 열 보존에 의해 억제되고, 저녁과 밤시간에는 잠수된 물에 의한 열 방출에 의해 가속이 되었다.

아침부터 저녁까지 잠수 지역에서의 전체 열 보존량은 항상 저녁에서 다음날 아침까지 대기안으로의 전체 열 방출량보다 컸다. 이것은 지표면에서의 유출 또는 침투에 의한 물의 이동이 열손실을 일으키기 때문이다. 이것은 논의 잠수가 상층에서 하층 지형까지의 열 전달체로서의 역할을 한다는 것을 보여준다.

잠수된 물의 깊이는 일반적으로 우기에는 20cm에서 30cm까지 된다. 그렇기 때문에 우기에서의 논의 열수지에 대한 이해를 높이기 위해 잠수에 의한 열 보존을 더욱 자세히 측정하는 것이 중요하다.

- M. Lu, T. Koike and N. Satoh (Japan) :
Effects of topography on land surface processes in SiB model

지표면의 비균질성은 대규모 수문 모델에서 중요한 문제로 생각되어져 왔다. 이 연구의 목적은 지표면 과정에서 지형의 역할을 조사하는 것이며 이는 경사면의 기울기나 경사방향이 하향 단파 복사에 미치

는 영향-즉, 지표면 과정에 미치는 영향-이 있을 것이기 때문이다. 이 연구에서는 SiB 모델이 사용되었다.

SiB 모델에서의 열균형과 물균형은 다음의 방정식에 의해 조절된다.

$$C_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = Rn_i - H_i - \lambda E_i$$

$$\frac{\partial M_i}{\partial t} = P_i - D_i - \frac{Ew_i}{\rho_w}$$

$$\frac{\partial W_i}{\partial t} = \frac{1}{\theta_i D_i} (Q_{i-1,i} - Q_{i+1,i} - \frac{1}{\rho_w} ET_i)$$

여기서 T_i , C_i , Rn_i , H_i , E_i ($i=c$ 또는 gs)는 각각 캐노피와 grand cover, 토양의 기온, 열용량, 순복사량, 증발산량을 나타낸다. M_i , P_i , D_i , Ew_i ($i=c$ 또는 g)는 캐노피와 grand cover의 물 저장, 차단, 배수, 증발량을 표시한다. W_i , ET_i ($i=1,2,3$)는 3층의 토양 수분량과 증발산량을 표시하며 $Q_{i,j}$ 는 i 번째 층에서 j 번째 층까지의 플럭스를 말한다.

이 연구에서 우리는 다음의 식을 이용하여 단파 직달 복사의 두 성분을 바꿈으로서 에너지 수지에 대한 지형의 영향을 보았다.

$$F_{\lambda,b} = F_{\lambda,b}^0 \times f(\phi, \delta, h, \theta, \beta)$$

여기서 $F_{\lambda,b}^0$ 는 $0.72\mu m$ 보다 크거나 작은 파장의 입사 단파 직달 복사량이며 $F_{\lambda,b}$ 는 단위 투사 수평 면적에 대한 해당 복사량을 나타낸다. 그리고 함수 $f(\phi, \delta, h, \theta, \beta)$ 는 경사면의 위도(ϕ), 태양 경사각(h), 지역 시간각(h), 경사각(θ), 경사 방향(β)으로부터 계산된다.

우리는 경사면의 기울기(θ)와 경사 방향(β)을 변화시키면서 지표면 과정에서의 지형의 영향에 대해 조사하였다. 기울기는 0에서 55도까지 각 5도 간격으로 변화시켰고, 경사 방향은 22.5도 간격으로 0에서 337.5도까지 변화시켰다. 기울기가 5도일때 결과를 보면, 하향 단파 복사의 연평균, grand cover와 토양으로부터의 증발량, 꼭대기 층에서의 토양 수분량이 수평면상에서 같은 값을 가지고 있다. 이것은

지형이 지표면 과정-즉, 지표면을 가로지르는 플럭스-에 많은 영향을 끼친다는 것을 보여준다.

• V. Vuglinsky (Russia) : Computation of Evaporation from River Basins in the Siberian Mountain Taiga Zone (Case-Study of the Lena River Basin)

시베리아 Taiga산 유역으로부터의 증발량 평가에 대한 방법론을 이야기하였다. 이 방법론은 물과 에너지 균형 방정식의 합동해에 기초한 것으로 강수량과 복사 균형이 기본 매개변수인 M.I.Budyko의 방정식에 의한 것이다. Lena강 유역의 남부에 대한 사례 실험으로서 Taiga산 지역의 증발량 계산에 이 식을 직접 이용하였고, 그 결과 구한 자료는 계통적으로 과다 추정되었다. 땅과 대기 사이의 난류 열 교환 방법을 고려하는 것이 필요하다. 즉, 산 지역에서 이러한 값들은 복사 균형 값과 대적할만한 것일 수 있다. 이는 산 유역으로부터의 증발량을 계산할 때, 산의 경사도 및 노출도를 고려하는 것이 필요하다는 것을 보여준다. 이 요소들을 무시하였을 때 증발량 계산은 많은 오차를(연평균 20%까지) 낼 수 있다. 표준 일사 측정 자료를 사용하여 서로 다른 경사도와 노출도를 가진 경사의 복사 균형 계산을 가능하게 하는 방법이 제안되었다. 이 개선된 방법의 기초하에서(위 요소들을 고려해 넣었을 때), 서로 다른 고도에 위치한 Lena강 유역의 30개 Taiga산 준유역에 대한 증발산량을 계산하였다.

2.3 제 3 부 : 지역 에너지 및 물 순환 (Regional Energy and Water Cycle)

• 배덕효(창원대) and K. P. Georgakakos (USA) : Temporal Analysis of Regional-Scale Hydroclimatology in Monsoon Watersheds

아시아 몬순 지역의 대기와 지표면 과정의 보다 나은 이해를 위하여 강수와 잠재 증발산, 기온에 대한 토양 수분량을 포함하는 지표/준지표 수문의 상호 작용을 조사하였다. 대기 변수들과 하천류 자료는 일상

적으로 지난 몇 십년 동안 기록이 되어 왔지만, 이러한 종류의 지역 규모 대기 변수 연구에 중요한 역할을 하는 토양 수분량은 존재하지 않는다. 중성자 조사나 TDR을 측정할 수 있는 관측 지점 편향의 토양 수분량 자료들이 존재한다고 할지라도 지점에서 지점까지의 토양 수분량의 비균질성에 의해 전체 유역에서의 토양 수분량을 표현할 수는 없다. 이러한 점에서 모델에서 계산한 토양 수분량은 그것이 믿을만한 자료라면 매우 유용할 것이다. 매일의 2층 토양 수분량이 운동학적 채널-노정 요소(kinematic channel-routing component)를 포함하는 수문 강우-유출 모델(hydrological rainfall-runoff model)에 의해 계산되었다. 이 모델은 미국 기상청(NWS)의 토양 수분 설명 현업 모델을 개발한 것이다. 몇십년간 관측된 매일의 하천류 자료가 모델의 검증과 보정을 위해 사용되었다. 수문기후학적 강제력/되먹임에 대한 시간 분석은 모델에서 생산된 수문, 기후 변수와 관측된 변수의 편차(anomaly)를 계산하는 것에 기초를 두었다. 여기서는 장기간 동안의 수치 모사에 대한 수문 모델의 수행 능력과 대기와 지표/준지표 수문간의 지역적 관계를 보일 것이다. 이런 종류의 연구는 GEWEX 대륙 규모 국제 연구 과제(GEWEX Continental -Scale International Project)에서 많은 연구자들에 의해 수행되어 왔다. 그러나 아시아 몬순과 미 대륙 수역간의 대기 강제 메커니즘과 지표면 조건이 다르기 때문에 이 연구는 이 두 대륙간의 지역적 수문기후의 다른 성질을 규명하고 몬순 지역에서의 잠재적인 지역 기후 변화를 평가하는데 유용할 것이다.

• F. Kimura and R. Tanigawa (Japan) : Numerical Modelling of Diurnal Variation of Moisture and Precipitation Over Complex Terrain

일본의 Kanto 평원 북쪽에 위치한 산맥 부근에서 맑은 여름날에 대해 라디오존데 탐측에 의해 수분 프로파일의 일변화를 관측하였다. 저녁 시간에 일 최고치를 보이는 산 지역의 수분량은 낮시간에 산 지역

측면 부근의 수분량보다 더 빠르게 증가된다. 일본 기상청의 자동기상관측시스템에 의해 오후에 관측된 지표 바람계는 경사진 지표면 위의 가열과 육지와 바다간의 가열정도 차에 의해 유도된 전형적인 지역풍을 보이고 있다.

관측된 수분 분포는 그 전날 탐측에 의한 자료를 초기치로 한 5km 격자 간격의 수치 모델 결과와 잘 일치한다. 수치 모델 결과에 의하면 수분은 증발산에 의한 지표로부터의 수분속 이외에도, 하층 지역풍-즉, 해륙풍에 의해 수렴되는 것으로 나타난다. 수치 모델에 의한 가강수량의 공간적 변화와 일변화는 여름철 레이더 관측에 의한 강수의 파수 분포와 잘 일치한다.

열적 중규모 순환은 수분의 이동을 통한 강수에 매우 중요하다. 지역적인 강수와 일사량에 관련한 수문 과정과 대기 과정 사이의 복잡한 되먹임 시스템이 있을 것이다.

- Dingchen Hou (P. R. China) and Ming Xue (USA) : A Numerical Simulation of the Structure of Meiyu Front over Eastern China and the Associated Lower Level Jet

이 연구의 목적은 동중국 Meiyu 전선의 형성 메카니즘을 연구하는 것에 있으며 특별히 상당 순압 구조와 하층 제트에 대한 것을 강조하였다. 이 연구는 순수한 변형장, 계절 평균 운동학적 배경과 일치하는 구조 및 개개 사례 등에 의해 강제된 2차원 전선형성 과정을 모사하는 것으로서 접근한다. 전 단계의 연구와는 달리 여기서는 초기에 약한 경압성과 대류권 하부에서 상대 습도의 강한 경도를 갖는 대기 안에서 형성하는 전선대에 대한 가능성을 연구하려고 한다.

사용된 수치 모델은 미국 오클라호마 대학의 CAPS에서 개발된 ARPS(Advanced Regional Prediction System)의 한 버전으로, Meiyu 전선과 관련된 찬공기역(cold pool)이 모사될 수 있는 구름 물리 과정을 포함하는 비정수 압축 모델이다. 사용된 수평 격자 크기는 16km이다. 초기 온위장은 대류권

뿐만 아니라 대류권계면 및 성층권 하부를 포함한다. 초기 바람장은 준지균 평형을 가정하여 생산되고 이는 대류권 상부의 아열대 편서풍 제트와 일치한다.

10-5s-1의 변형 계수를 가지며 북위 30도가 영역의 중심인 표준 실험은 응결이 있는 후 24시간 뒤의 뚜렷한 하층 제트와 전형적인 상당 순압 구조를 보인다. 상층 제트와 하층 제트의 거리는 약 1000km이며 이는 관측과 잘 일치한다. 중심 위도가 45도, 22.5도인 경우의 실험은 다른 양상을 보인다. 전자는 뚜렷한 하층 제트가 없이 전형적인 경압 구조를 보이며, 후자는 지표면 전선대와 하층 제트가 상층 제트의 남쪽에 상당히 멀리 떨어져 있는 것을 보인다. 기본 상태 대기의 정지 안정도에서의 변화는 또한 다른 전선 구조를 보인다. 더욱 안정된 경우는 경압 구조를 보이며, 덜 안정적인 경우는 저위도 경우에서 보인 바와 같은 유사한 구조를 보인다. 수분 지역 정도의 경감은 전선과 하층 제트의 강도를 약화시키지만 근본적으로 전선 구조를 변화시키지는 않는다. 그러나 대류권 하부에 '지표 온위나 초기 상대 습도를 경감시키거나 초기 경압성을 증가시키는 것은 경압 구조를 야기한다.

이 연구의 결과는 Meiyu 전선의 상당 순압 구조와 하층 제트가 역학적 강제력과 응결 가열 사이의 상호 작용 결과라는 것을 제안하는 것이다. 지균 조정은 상호 작용의 중요 메카니즘이다. 이는 코리올리력이 질량과 운동량장을 적절한 균형 상태로 돌릴 정도로 충분히 큰 동안에, 지표 온도와 대류권 정지 안정도 그리고 하층 수분량에 의한 상당한 양의 가열을 보장하는 초여름 시기에 그러한 구조가 동아시아 대륙에 존재한다는 것을 보여준다.

- 김진원, N. L. Miller (USA), 정준석 and 오재호 (기상연구소) : A Simulation of Precipitation and Land-surface Water Budget over the East Asia Using the UC Regional Climate System Model
- 강한 태풍 내습 시기 동안 동아시아 지역의 지면-지표 물수지를 모사하였다. 이 연구의 주 초점은 강

한 강수가 있을 때 증발산, 유출, 토양 수분의 변화를 포함하는 지면-지표 물수지의 반응을 보는 것이다. 또한 대기와 지표면 근처 토양층 사이의 에너지와 물 교환에 대한 지표 식물의 영향을 논의할 것이다.

지면-지표 물수지는 지역 수자원 관리, 자연 재해 예측, 그리고 농업에 있어서 지대한 관심거리이다. 역사적으로 동아시아는 농업에 심각한 피해를 입히거나 심지어는 인명 피해를 불러 일으킬 만한 잦은 홍수와 가뭄으로 고통을 받아왔다. 그래서 지면-지표 물수지의 정확한 평가는 우기의 자연 재해에 대한 조기 경고와 건기의 물공급 준비에 중요하다.

물순환과 동아시아 지역의 농업-생태계에 대한 영향을 좀 더 잘 이해하기 위해, 우리는 California 대학의 지역 기후 시스템 모델(RCSM)을 이용하여 대기와 지면-지표 수문기후의 기후학적 양상을 조사하는 중이다. 이 RCSM은 중규모 대기 모사(MAS) 모델과 토양-식물-눈(SPS) 모델의 상호 연계 모델로 일방향 동지 지표 수문과 농업-생태계 모델로 구성되어 있다. NASA 후원의 이 연구는 연간 강수량의 대부분이 여름철 몬순 순환과 태풍에 의한 것이기 때문에 동아시아 몬순 시기에 초점이 맞추어질 것이다.

사례 연구를 위하여 2.5°×2.5° 간격의 NCEP 재분석 자료로부터 얻어진 대규모 자료를 이용하여 UC-RCSM을 실행하였다. RCSM은 양방향 동지 모델로 60km×60km 격자가 6600km×4800km 영역에 걸쳐있고, 20km×20km 격자가 2400km×2400km영역에 걸쳐있다. 우리는 폭풍이 이 영역을 지날 때 토양 수분량과 유출량, 증발산량의 시·공간적 변화를 보일 것이다. 또한 식물이 지면을 덮을 때 증발산량의 민감도에 대해서도 보일 것이다.

2.4 제 4 부 : 아시아 몬순의 에너지 및 물 순환 (Energy and Water Cycle in Monsoon Asia)

- N. Sen Roy (India) : Seasonal Prediction of Indian Monsoon

인도 여름 몬순의 장기예보는 오랜 기간동안 연구자들의 관심을 끌여온 몬순과 관련된 가장 중요한 과

학적 문제의 하나이다. 느리게 변화하는 경계 조건이 몬순의 평균 행태를 결정한다고, 그래서 몬순의 예측성을 강화시킨다고 믿어져 왔다. 최초로 알려진 모델은 몬순에 대한 단 하나의 예보 인자로서 히말라야의 강설을 사용하였다. 몬순의 계절 강우와 물리적으로 연관된 기초 아래에서 몇 년간 새로운 매개변수에 대한 연구가 계속되어 예보인자의 범위가 넓어져 왔다. 많은 예보 인자들이 시간의 경과에 대해 불안정한 관계를 지탱해온 경험이 있어 왔고, 통계적인 모델들은 아직 역학모델과 비교하여 볼 때 더 높은 기술을 가지고 있다.

많은 잠재적인 예보 인자들의 실험에서 약 16개의 매개변수들이 인도 전역에서 4달간의 몬순 기간동안(6월-9월) 전체 강우와 강한 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 이 매개변수들 중 약간은 지역적 변수들이고 약간은 전구적 변수들이다. 이 매개변수들 중 3개는 바람과 관련되어 있고 6개는 온도와, 5개는 기압, 2개는 적설과 관련되어 있다. 이 매개변수들은 그들 개개의 시간 형태를 가지고 있다. 55% 이상의 매개변수들이 적절히 쓰였을 때, 몬순 강우는 정상적으로 되거나(±10%범위의 장기간 평균으로 정의) 또는 과도하게 되었다. 45% 이상의 부적절한 매개변수들일때는 몬순은 정상적 또는 불완전하게 될 것이다. 그래서 55%의 적절한 계수들은 정상 또는 과도 몬순 강우의 필요 조건이다. 이 계수들은 다음의 급수회귀방정식을 사용할 때 몬순 계절 강우의 정량적 수치를 준다.

$$\frac{R + \alpha_0}{\beta} = C_0 + \sum_{n=1}^{16} C_n \left(\frac{x_n + \alpha_n}{\beta_n} \right)^{b_n}$$

여기서 R 은 장기간 평균치의 백분율로서 몬순의 계절 강우량이고, x 는 관측된 상이한 계수들의 값, C , α , β 는 과거 자료를 기초로 하여 수행한 모델의 상수 값이다. 이 관계식은 10년간의 현업 사용 기간 동안에 대해 검증된 것이다. 그러나 합당한 정확도를 가지고 더 좁은 지역에서 더 짧은 시간 규모를 가지고 강우를 표시하는 것은 실패하였다. 이는 더 새로운 기술과 예보인자를 필요로 한다.

• 손병주 (서울대) : Climatological Features of the East Asian Summer Monsoon Related to Heat Budget

열수지와 관련한 동아시아 여름 몬순의 경년 변동과 기후 성질을 12년간(1980-1991)의 ECMWF/TOGA 자료와 5년간(1985-1989)의 ERBE(Earth Radiation Budget Experiment) 대기 꼭대기(TOA)와 지표의 복사 수지 자료를 사용하여 연구하였다. 이 연구에서 사용된 열수지 변수는 연직으로 적분된 겉보기 열원 <Q1>, 수분발원 <Q2>, 복사열 <QR> 그리고 현열속과 잠열속의 합, SH + LE이다. 열수지 변수의 여름 평균의 전구 분포에서 발견되는 가지 현저한 양상은 동아시아 몬순 지역을 가로지르는 북서-남동 열 경도이다. 이 경도는 동아시아 몬순 지역의 100Wm⁻²보다 더 큰 가열과 북서태평양 아열대 고기압의 냉각에 의해 일어난다. 티벳 고원과 북서태평양 아열대 고기압 사이에 생성되는 차등 복사 가열은 동아시아 몬순 지역을 가로지르는 그러한 경도를 일으키는 주요 요인이다. 그래서 티벳 고원, 북서태평양의 지표 또는 대기의 조건에 대한 변화는 복사 가열 구조의 변화를 통해서 동아시아 몬순의 경년변동을 유도할 수 있다고 추론되어진다. 그리고 가열 경도의 세기는 동아시아 몬순 기간 동안 강화되고 반대로 몬순이 약화되는 기간 동안에는 가열 경도가 약화된다.

2.5 제 5 부 : 대기 대순환모델 연구 (GCM Studies)

• A. Kitoh, S. Yukimoto, A. Noda, S. Nakagawa and T. Motoi (Japan) : Asian Monsoon in the MRI Coupled GCM

증가된 CO₂ 기후에 대한 아시아 몬순의 변동성과 가능한 양상을 MRI 대기-해양 결합 모델에 의해 모사한 결과를 보였다. 비교를 위해 150년간 모델을 적분한 결과를 기준치로 삼았다. CO₂ 실험으로는 1%의 CO₂ 증가를 가지고 150년간 적분하였다.

모델은 3에서 6년의 현저한 피크를 가지는 엘니뇨

의 양상을 모사하였다. 인도 지역에서 모사된 강수는 적도 태평양의 SST와 음의 상관관계를 가지고 있다. 편서풍 편차는 아라비아해에서 발견되며 더 강한 몬순류를 가리키고 있다. 그래서 강한 몬순은 라니냐가 일어날 때 일어난다. 지연 상관관계는 여름 몬순이 정상치보다 더 강할 때, 서유라시아지역의 봄철 눈이 덜 광범위하다는 보여준다. 이 때, 통계적 현저함이 크지 않더라도 지면은 더 건조해진다. 유라시아 지역의 30N-50N에서 구름량은 더 적고 상층 대류권 기온은 더 따뜻하다.

남아시아에서 여름 몬순 강우는 지구온난화와 함께 현저하게 증가한다. 그러나 850hPa과 200hPa 동서풍 사이의 차이로 정의되는 몬순 바람 쉬어 지수는 CO₂ 2배 기후에서 증가하지 않는다. 850hPa에서 편서풍은 북쪽으로 편향되고 사하라에서 인도 북서쪽으로 강화된다. 그러나 아라비아해에서의 몬순 편서풍은 약화된다. 적도 인도해에는 편동풍 편차가 나타난다. 그래서 몬순 강우 지수와 몬순 바람 지수는 이 모델에서는 지구온난화에 의해서 다르게 변화한다.

CO₂ 2배 시점에서 10년간의 6월-9월 강우의 표준편차로 정의되는 몬순 강우의 경년변동 정도는 더 따뜻한 기후에서 증가한다. 그런데 이 경년변동의 10년 변화는 기준 결과와 실험 결과 모두에서 큰 값이었다. 이는 지구온난화에 따른 몬순 강우 변동의 변화를 평가하기 어렵게 한다. 엘니뇨 변동성 정도는 이 모델에서 더 따뜻한 기후일 때 작아진다. 강우 변동성은 만일 SST 변동이 감소되면 대기 수분량이 더 온난한 기후에서 증가하기 때문에 감소되지 않는다.

• Jae-Kyoung E. Schemm (USA) : Application of Dynamic Extended Range Forecasts to the Prediction of the Asian Monsoon

NCEP에서 수행된 다중년 DERF(Dynamic Extended Range Forecast) 실험을 수행하여 아시아 몬순의 예측가능성을 조사하였다. DERF 실험은 1985년 1월에서 1990년 3월까지 기간 동안

CPC/NCEP에 의해 발표된 2주와 월평균 기후예보에 대한 이들의 유용성을 계산하는 것으로 수행되었다. 이 목적으로 사용된 GCM은 NCEP MRF 모델의 T62L28 재분석 버전이다. 50일 예보가 5년 기간 동안 하루 한번씩 수행되었다. 이 예보들에서 해수면 온도는 90일의 e-folding time을 가지고 초기치로부터 기후값으로 줄어들었다.

예보값에 기초한 시간-평균류의 예측가능성과 예보기술의 평가는 5월에서 9월까지의 온난 기간 동안 아시아 몬순에서 하층 바람과 강수에 강조를 하여 이야기될 것이다. 몬순 순환에서의 토양 수분의 영향도 현업 모델인 NCEP MRF GCM을 가지고 모사한 15년 자료들을 가지고 논의될 것이다.

2.6 제 6 부 : 위성 관련 연구 (Satellite Studies)

- T. Koike, T. Tsukamoto, J. Yoshimoto, Y. Iijima and H. Fujii (Japan) :
Passive microwave remote sensing of land surface hydrological conditions at a continental scale

아시아 여름 몬순의 경년변동이 적설과 토양 수분의 계절 변동의 비정상적 상태에 의해 강하게 영향을 받는다고 알려져 왔다. 이 연구에서는 수동마이크로파 원격 탐측에 의한 대륙 규모에서의 지표면 습윤 정도와 눈녹은 물(snow water equivalent)에 대한 관측 시스템을 제안한다.

지표 습윤 정도를 감시하기 위해서 여러 파수에서의 방출을 사이의 차이가 지수로서 사용될 수 있다. 여기서는 ADEOS-2에 탑재될 예정인 AMSR (Advanced Microwave Scanning Radiometer)와 같은 주파수와 편광을 가지는 항공기 탑재 센서를 이용하여 토양 수분 측정을 위한 항공 실험을 수행하였다. 제안된 지표 습윤 지수와 항공기 탑재 라디오미터의 관측에서 공간적으로 평균된 관측 지표 수분사이의 관계는 36.5GHz와 6.9GHz의 조합이 토양 수분 감시에 가장 좋은 수행 능력을 가지고 있으며, SSM/1에서 얻을 수 있는 36.5GHz와 18.7GHz의

조합은 또한 토양 수분에 어느 정도 민감하게 반응한다는 것을 보인다. 제안된 지수를 사용하여 1도 격자 규모에서의 지표 습윤 정도의 평균과 표준편차가 계산되었다. 산림 지역 바깥에서 계산된 지표 습윤 정도에 기초하여 갠지스강 입구와 티벳 고원, 서시베리아 지역이 여름에 유라시아 대륙에서 가장 습한 지역으로 특징지워진다는 것을 보여준다. 마지막 두 지역에서 눈과 영구 동결 지역의 해빙은 지표 습윤값을 크게 하는데 기여한다고 생각된다.

눈녹은 물을 관측하기 위하여 균질한 반공간(homogeneous half-space)에서의 산란유전층(scattering dielectric layer)에 기초한 복사 전달 이론이 쌓인 눈과 그 아래 토양으로부터의 방출에 대해 적용되었다. 두 주파수간의 밝기온도의 차이는 눈 녹은 물 지수로서 사용될 수 있다. 우리가 만일 얼음 싸라기의 크기와 눈 밀도를 가정한다면 우리는 19GHz와 37GHz에서 밝기온도를 사용하여 쌓인 눈의 온도와 눈 깊이를 묘사할 수 있는 도표를 얻을 수 있다. 이 도표를 이용하여 우리는 대륙 규모의 눈 깊이와 온도를 추정할 수 있다.

- Y. Tachikawa, M. Shiiba, K. Takara and T. Takasao (Japan) : Estimation of Aerodynamic Roughness Parameter Using Synthetic Aperture Radar Data

유체역학적 거칠기 매개변수는 바람 속도의 단면 측정에 의해서 경험적으로 결정된다. 그런데, 그러한 측정이 불가능한 경우에는 기하학적 지표면 성질로부터 유체역학적 거칠기 매개변수를 추정하는 것이 필요하다.

SAR(Synthetic Aperture Radar)에 의해 관측된 후방산란 계수는 기하학적 지표 거칠기 장애물에 의해 영향을 받는다. 이러한 속성을 사용하여 유체역학적 거칠기 계수의 공간 분포를 JERS-1(Japanese Earth Resources Satellite)과 ERS-1(European Remote Sensing Satellite)에 의해 얻어진 SAR 영상으로부터 추정할 수 있다. 이 거칠기 지도를 일본의 국립지리수치정보를 사용한 Kondo와 Yamazawa

■ 일반기사

"제3차 아시아 문순에 관한 국제 학술 회의"의 결과 보고

(1986)에서 제안된 방법에 의해 유도한 거칠기 지도와 비교하였다. 그 결과, JERS-1 SAR로부터 유도된 거칠기 지도는 국립 지리수치정보로부터 유도된 거칠기 지도와 잘 맞아떨어진다.

3. Poster Session

Poster Session은 각 부가 진행될 때마다 약 15분에 걸친 발표자들의 짧은 소개와 1시간 30분 동안

의 질의·응답 시간을 가짐으로서 진행되었다. 이 Poster session에서 발표된 내용은 부록 B와 같다.

4. 폐 회

이 학술 회의는 1996년 3월 28일 오후 5시 경에 폐회되었으며, 개인적으로 다양한 정보 교환 및 토론이 있었다. ●●



인간에게는 세 가지 싸움이 있다. 첫째는 인간과 자연과의 싸움이요, 둘째는 인간과 사회와의 싸움이요, 셋째는 인간과 마음과의 싸움이다.

(V. 위고 - 프랑스의 시인)

