

여름강수량의 단기에측을 위한 Multi-Ensemble GCMs 기반 시공간적 Downscaling 기법 개발

Development of Multi-Ensemble GCMs Based Spatio-Temporal Downscaling Scheme for Short-term Prediction

권 현 한*·민 영 미**·Saji N. Hameed***
Hyun-Han Kwon·Young-Mi Min·Saji N. Hameed

요 지

A rainfall simulation and forecasting technique that can generate daily rainfall sequences conditional on multi-model ensemble GCMs is developed and applied to data in Korea for the major rainy season. The GCM forecasts are provided by APEC climate center. A Weather State Based Downscaling Model (WSDM) is used to map teleconnections from ocean-atmosphere data or key state variables from numerical integrations of Ocean-Atmosphere General Circulation Models to simulate daily sequences at multiple rain gauges. The method presented is general and is applied to the wet season which is JJA(June-July-August) data in Korea. The sequences of weather states identified by the EM algorithm are shown to correspond to dominant synoptic-scale features of rainfall generating mechanisms. Application of the methodology to seasonal rainfall forecasts using empirical teleconnections and GCM derived climate forecast are discussed.

핵심용어 : Multi-Model Ensemble GCMs, Temporal Downscaling, Daily Rainfall, Rainfall Simulation

1. 서론

본 연구에서는 1개월 이전에 제공되는 GCMs Ensemble로부터 우리나라에 가장 적합한 Multimodel Ensemble의 대한 확률적 예측모형을 통해 추정된 계절강수량을 이용하여 우리나라 60개 관측소지점에 대해서 Downscaling을 실시하고 강수량 특성치에 대한 예측능력을 평가하고자 한다. APEC Climate Center로부터 총 8개의 GCMs(cwb, gcps, gdaps, metri, msc_gem, msc_gm2, msc_gm3 and ncep) Hindcast Experiment를 제공받았으며 이를 활용하여 연구를 진행하였다. 자료는 1981년부터 2003년까지 총 23년의 JJA(June-July-August)계절을 대상으로 하였다.

본 연구에서는 계절단위의 스케일을 가지는 기상예측 결과를 일단위 스케일의 강수량 시나리오로 변환하는 Temporal Downscaling과 수백 Km에 이르는 해상도를 갖는 GCMs의 특성을 강수지점 수준으로 상세화시키는 Spatial Downscaling과정이라 할 수 있다. GCMs은 많은 유용한 정보를 제

* 정회원·한국건설기술연구원 선임연구원 · E-mail : hkwon@kict.re.kr

** APEC Climate Center· Research Scientist

*** APEC Climate Center·Senior Research Scientist

공함에도 불구하고 상세 Temporal Scale에서는 신뢰성에 문제점을 나타내고 있다. 물론 GCMs은 일단위 이하의 Temporal 자료를 제공하고 있지만 월 단위이상의 시간단위로 변환하여 사용하는 것이 일반적이다. 이러한 점에서 Spatio-Temporal Downscaling 기법의 개발은 매우 큰 의미를 지닌다. 따라서 본 연구의 목적은 Large-Scale의 Climate Pattern이 일강수에 미치는 영향을 정량화하고 이를 활용하여 일강수량의 특성치를 전망하는데 목적이 있다고 하겠다.

본 연구에서 사용되는 기상예측 자료는 권현한 등이(2009) Hierarchical Bayesian Model을 통해 추정된 MME를 활용하여 Downscaling을 실시하였다.

2. 연구 방법

2.1 Hierarchical Bayesian 방법을 통한 MME 구축

최적의 MME를 구성하기 위한 식은 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다. 여기서 w_i 는 각 GCM 모형에 주어지는 가중치를 나타내며 $f(x_i)$ 는 각 GCM이 가지는 Ensemble로부터 추정되는 확률밀도함수를 나타낸다. Y 는 실측강수량을 나타낸다 (권현한 등, 2009).

$$Y = \sum_{i=1}^M w_i (f(x_i)) \quad (1)$$

여기서 w_i 는 정규분포로 가정하였으며 실측치 Y 와 $f(x_i)$ 는 모두 Lognormal 분포를 따른다고 가정하였다.

$$Y_t \sim LN(\mu_t, \sigma) \quad (2)$$

$$w_i \sim N(\mu_{wi}, \sigma_{wi}) \quad (3)$$

$$f(x_i) \sim LN(\mu_{fi}, \sigma_{fi}) \quad (4)$$

$$\mu_t = w_i \mu_{fi} \quad (5)$$

본 연구에서, 계층적 Bayesian 모형을 구성하기 위해서 Markov Chain Monte Carlo(MCMC)을 이용하여 매개변수를 추정하였다.

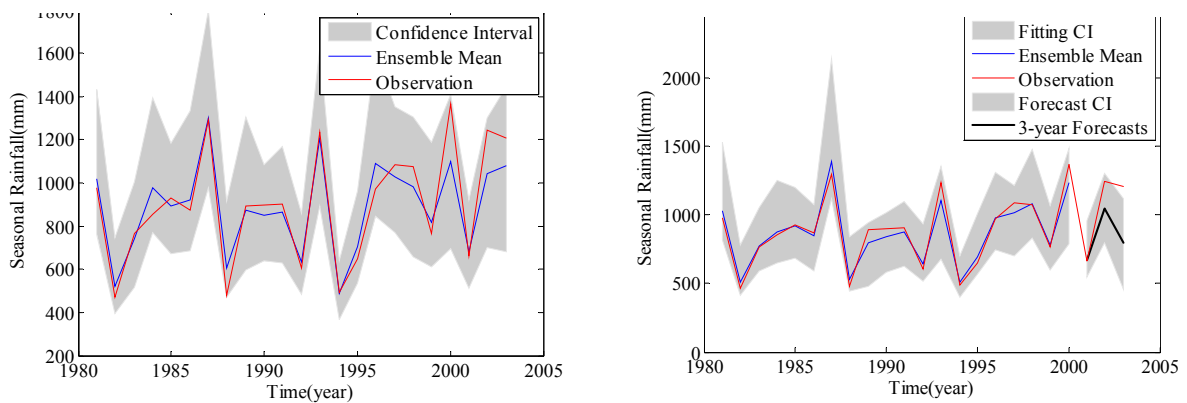


그림 1. Hierarchical Bayesian 모형을 통한 Fitting 결과 및 3-Year Blind Forecasts

2.2 Weather State Based Downscaling Model

앞서 언급했듯이 스케일이 다른 두 정보를 활용하여 Downscaling을 실시하기 위해서는 일강수량 특성치들이 시간에 따라 변동하는 Dynamic 모형에 형태를 갖추어야 한다. 이러한 점에서 외부인자가 모형에 접합되는 비정상성 모형을 개발하였다. 강수의 천이상태를 추정하는데 있어서 기존 Markov Chain 모형과는 다르게 Weather State를 기반으로 천이확률을 추정하였다. 즉, $R = \{R_t^1, \dots, R_t^M\}$ 를 M개의 강수관측소에서의 강수변량이라고 하고 S_t 를 시간 t 에서의 기상상태라고 정의하고, 또한 $X = (X_1, \dots, X_T)$ 를 GCMs 또는 기상변량과 같은 외부인자로 가정하자. 다음과 같이 강수량은 기상상태와, 외부인자에 조건부로 변화하는 식으로 전개할 수 있다.

$$P(R_t | S_t^T, R_1^{t-1}, X_1^t) = P(R_t, S_t) \quad (1)$$

식(1)에서 강수량의 천이확률을 추정하고 각 매개변수를 계산함으로써 강수발생과 강우량을 모의할 수 있다.

3. 연구결과 및 결론

그림 2는 그림 1에서처럼 Hierarchical Bayesian 모형을 통하여 모형을 적합시킨 후 동일 매개변수를 이용하여 과거자료를 재구성한 결과를 나타낸다. 전체적인 결과가 그림 1에 비해 오차가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 그림 1은 모든 모형을 사용함으로써 나타난 과적합(overfitting)의 결과로서 실제로 예측시스템에 들어가면 그림 2와 같은 결과를 나타내게 된다. 즉 몇몇 GCM 모형은 전체 MME 결과에 영향을 미치지 못하고 단순히 Noise로 작용한다는 것이다. 그럼에도 불구하고 그림 2에서 결과는 여름 강수량 예측측면에서 매우 우수한 결과라 판단된다. 대부분의 불확실성 구간 안에 실측치가 위치하고 있다. 이를 활용하여 전국지점에 대해서 Downscaling을 실시하였다.

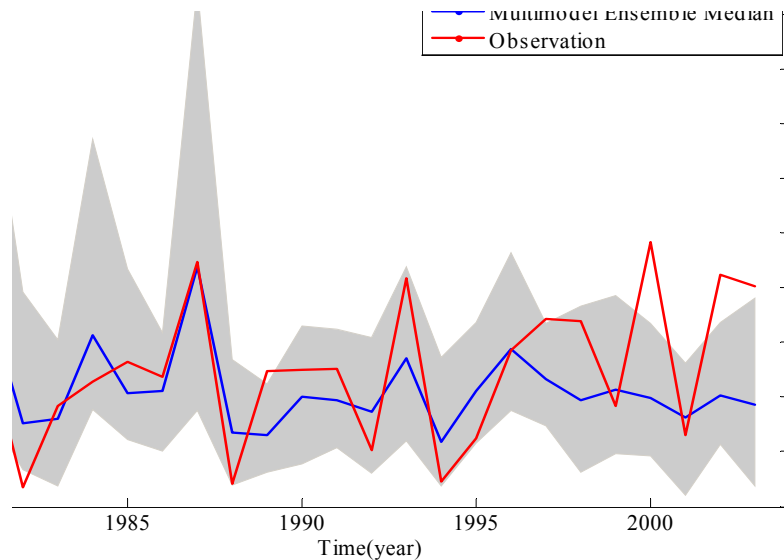


그림 2. Hierarchical Bayesian 모형을 통한 Fitting 결과 및 3-Year Blind Forecasts

그림 3은 MME를 입력자료로 하여 추정된 2000년 여름 강수일수의 대한 공간분포를 나타낸다. 공간적으로 일부 상이한 결과를 나타내고 있지만 여름강수량의 변동성을 고려한다면 상당히 유사한 공간분포를 나타내고 있다고 볼 수 있다.

그림 3. 2000년 여름의 강수일 비교.(좌:Downscaling 모형, 우: 실측치)

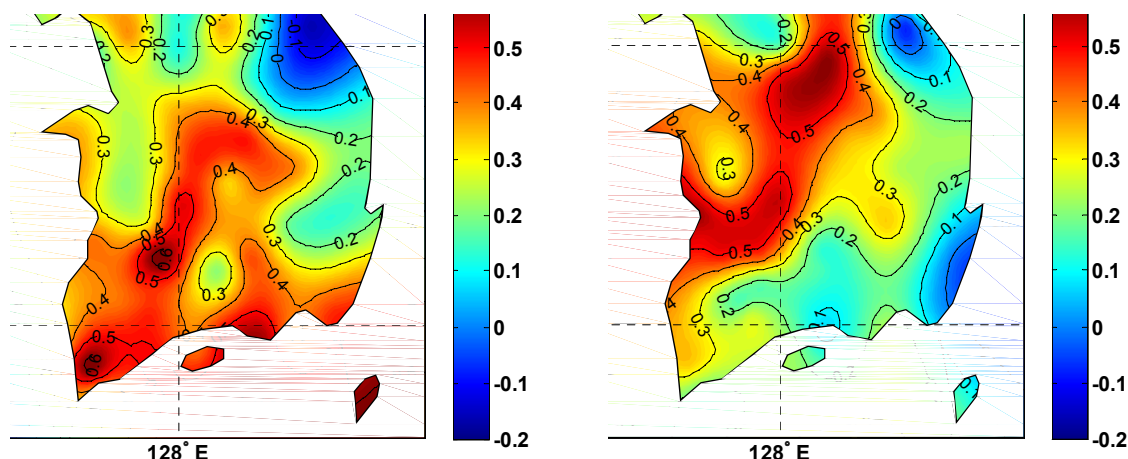


그림 4. Downscaling 모형결과에서 추정된 일강수량 통계치 비교(좌:강수일수, 우:강수량)

그림 4는 모형으로부터 추정된 강수일수와 강수량을 23년간의 실측자료와 비교하여 나타난 그림이다. 강수일수의 경우 전국적으로 0.2에서 0.6의 상관관계를 나타내고 있으며 강수량의 경우에도 대략 0.2~0.6의 일치성을 보여주고 있다. 그러나 공간적으로 결과의 편차가 매우 크게 발생하고 있다. 강수일수와 강수량 모두 강릉을 중심으로 한 관동지방의 결과가 타 지역에 비해 나쁘게 나타나고 있다. 이는 크게 2가지에 생각해 볼 수 있다. 첫째, 저해상도의 GCM을 사용함으로써 GCM의 공간분해능력이 동해안 일부지역을 포함하지 않게 되면 동해안 지역에 강수패턴을 제대로 고려할 수 없게 된다. 둘째, 강원도와 같이 산지가 많은 지역에서 GCMs은 지역규모에서 발생하는 강제력을 효과적으로 모의하지 못할 수 있다.

본 연구에서 제시한 Downscaling 방법에서는 계절적인 거동은 GCM으로부터 일강수량 패턴은

관측지점에서 유도하게 되며 서로의 관계를 동적으로 연결할 수 있는 비정상성 모형의 형태를 가지게 된다. 따라서 입력자료로 사용되는 GCM에 정확도에 따라 전체 결과에 영향을 많이 받게 된다. 예를 들어, GCM에서 주어지는 계절강수량이 실측치와 차이가 크다면 Downscaling 모형으로부터 추정되는 강수일수 및 천이확률과 같은 일강수량 통계치가 제대로 모의되기 어렵다.

본 연구에서는 매개변수추정 방법 및 불확실성 해석 방법으로 가장 진보된 Bayesian 방법을 활용하여 최적 MME를 산출하였으며 이를 Weather State Based Downscaling 모형에 입력자료로 활용하였다. 모형을 통한 예측결과 실측강수사상과 유사한 특성을 재현할 수 있었으며 수문모형에서 홍수 및 가뭄을 예측하기 위한 기본 자료로서 이용이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 권현한, 민영미, Saji N. Hameed (2009), Hierarchical Bayesian Model을 이용한 GCMs 의 최적 Multi-Model Ensemble 모형 구축, 한국수자원학회 학술발표회 논문집.