

인위적인 육지피복의 변화가 남미 라플라타 분지의 기후에 미치는 영향

이승재^{1*}, E. H. Berbery²

¹서울대학교 농업생명과학대학 복잡계과학연구소

²미국 메릴랜드대학교 지구계과학대학제센터

Effects of Human-induced Land Cover Changes on the Climate of La Plata Basin in South America

S. J. Lee^{1*}, and E. H. Berbery²

¹Complex Systems Science Laboratory, Seoul National University, Seoul, Korea

²Earth System Science Interdisciplinary Center, University of Maryland, College Park, USA

(Correspondence: seungjaelee@snu.ac.kr)

1. 서 언

농업 활동의 확대와 농작물의 변경으로 인하여 남미 라플라타 분지의 광대한 면적은 육지피복(land cover) 형태의 많은 변화를 겪어 왔다. 이러한 변화는 반사도, 방출율, 거칠기 길이 등 지면의 생물리학적 성질의 변화를 의미하는 것이다. 기존의 모델링 연구들은 육지피복 형태의 변화가 생물리학적 성질의 변화를 동반하면서 그 위에 놓여 있는 대기의 상태와 강수의 변동에 영향을 줄 수 있음을 보였다. 그래서 육지피복의 변화는 지표 부근 대기변수, 대기경계층, 기층의 대류불안정성, 하층 대기 수분플럭스, 그리고 강수에 영향을 미칠 수 있게 된다. 식생(vegetation) 형태의 변화 (가령, 숲에서 농경지로 변화) 또한 뿌리 깊이의 변화 등을 통해 토양의 함수량, 투과율, 지하수 유출 등 지표면 아래 더 깊은 곳의 특성에 영향을 주어, 집수(catchment) 규모 가용수의 부피, 타이밍, 질의 변화를 초래할 수 있다. 본 연구에서는 남미 라플라타 분지에서 발생하는 육지피복 및 식생의 변화가 그 지역 기후에 어떠한 변화를 일으킬 수 있는지 그 영향의 정도, 범위, 메커니즘을 제시하는 것을 목적으로 하였다.

2. 자료 및 방법

2.1 WRF/Noah 접합모형

목적을 이루기 위한 도구로써 본 연구는 Noah 지면모형과 접합된 WRF 기상모형 (Weather Research and Forecasting Model)을 사용한다. 전자는 미국기상청, 미공군, 오레곤 주립대학이 공동 개발한 지면모형으로서 많은 기상모형들에서 널리 채택되고 있는 대표적인 지면 모형이다. 후자는 최신의 역학과정, 물리과정, 전/후처리 과정, 원격탐사 자료 활용 능력, 동지역 및 이동 기법 등을 두루 갖추고 있는 커뮤니티 기상모형으로서, 전지구 규모, 중관규모, 중규모, 미규모, 도시규모 등 다양한 규모에서 운영될 수 있는 다규모 모형이다.

2.2 모형의 적용

모형을 적용하는 지역은 남미 대륙 전체와 그 주변 해양이며, 중요 관심지역은 4개국이 국경을 접하고 있는 라플라타 분지 지역이다. 남미 전체 및 주변 해양을 포함하도록 WRF/Noah 접합모형의 성긴 격자 영역(수평 36km 해상도)을 배치하였고, 관심 지역인 라플라타 분지에는 상세 격자(수평 12km 해상도)를 등지 격자로 두어, 두 격자 간 양방향 상호작용(2-way interaction)이 일어나도록 허락하였다. 모의 대상 기간은 2002년 9월~11월까지 3개월로서, 보통의 남반구 봄철에 해당한다.

두 세트의 앙상블 모의실험을 수행하였는데, 각 세트는 네 개의 앙상블 멤버로 이루어져 있다. 첫 번째 세트는 현재의 육지피복 상태를(CNTL), 두 번째 세트는 농경지의 이상적인 확장을 가정한 미래의 육지피복 상태를(CROP) 모형의 바닥 경계 조건으로 각각 사용한다. Lee (2010)는 강수와 2-m 온도에 대한 이 접합모형의 민감도 실험을 남미 지역을 대상으로 수행하여 이 지역에서의 지표-대기 상호작용을 모의하는데 적절한 물리 모수화 방안들의 조합을 선정하였는데, 본 연구에서는 그 조합을 따르도록 한다. 또한 두 세트의 모의 간 차이에 대한 two-tailed t-테스트 통계를 계산하여 모의 결과의 신뢰성 검증을 수행하였다.

3. 결 과

Fig. 1은 현재(CNTL) 및 농경지의 확장을 가정한 가상적인 미래(CROP)에 해당하는 육지피복 지도를 보여준다. 현재의 지도(Fig. 1a)는 분지 내에 세 종류의 자연 식생(사바나, 상록활엽수림, 초지)이 있음을 보여준다. 또한 인간에 의한 농업 활동의 결과로 만들어진 건조농경지 및 건조/관개혼합농경지도 존재한다. CROP 실험(Fig. 1b)에서는 분지 안에 있는 세 종류의 자연 식생 형태들이 건조농경지(비를 이용한 경작)로 대체된다.

Table 1은 실험에 사용된 지표면 물리 파라메타의 값들을 보인 것으로, 식생의 변화가 육지표면의 물리적 성질의 변화를 가져옴이 분명함을 보여 준다. 식생의 변화는 분지 전체적으로 일어나지만 가장 두드러진 효과는 숲이 농경지로 대체되는 지역에 대응이 된다. 이러한 지역들은 분지의 중앙부에 대부분 위치하고 있으며, 표면 거칠기 길이의 감소와 반사도의 증가를 가져온다. 초지가 농경지로 대체되는 분지의 남쪽에서는, 표면 거칠기 길이가 역시 감소하지만 그 정도가 약하며, 반사도는 약하게 감소한다. 마지막으로 사바나로 뒤덮여 있는 북쪽은 농경지의 확장으로 거칠기 길이가 약간 감소하고 반사도는 거의 변화가 없다.

반사도와 방출율의 변화는 순복사 균형과 지표면 에너지 균형에 영향을 주고, 표면 거칠기 길이는 대기 하층 바람과 난류 플럭스에 영향을 미친다. 중요한 점은 이들 과정들이 매우 비선형적으로 대기의 연직 구조 및 수분 플럭스에 관여한다는 것과, 그 결과 지표면 부근의 온도와 강수의 국지적/비국지적 변화를 초래한다는 것이다. 농경지의 지속적인 확장을 가정했을 때 두 실험 간 2-m 온도의 차이(Fig. 2b)를 보면, 분지의 북부는 대체로 기온이 하강할 것을 가리킨다. 특히 반사도의 큰 증가가 있는 파라과이 동부가 그러하다. 반사도가 감소한 분지의 남부는 특히 서쪽에서 국지적인 기온의 증

가가 모의되었다. 한편, 농업 활동이 확장되면 분지의 북부는 강수의 약한 감소를, 분지의 남부는 우루과이 강 근처에서 강수의 큰 증가가 모의되었다. 이러한 강수의 패턴은 표면 거칠기 길이의 변화에 따른 수분 플럭스의 변화와 관련이 있다.

사사

This research was supported by “CarboEastAsia - A3 Foresight Program” of National Research Foundation of Korea.

인용문헌

Lee, S. J., 2010: Impact of land surface vegetation change over the La Plata Basin on the regional climatic environment: A study using conventional land-cover/ land-use and newly developed ecosystem functional types. Ph.D. dissertation, *University of Maryland*, 153 pp.

[Available at <http://drum.lib.umd.edu/handle/1903/10831>]

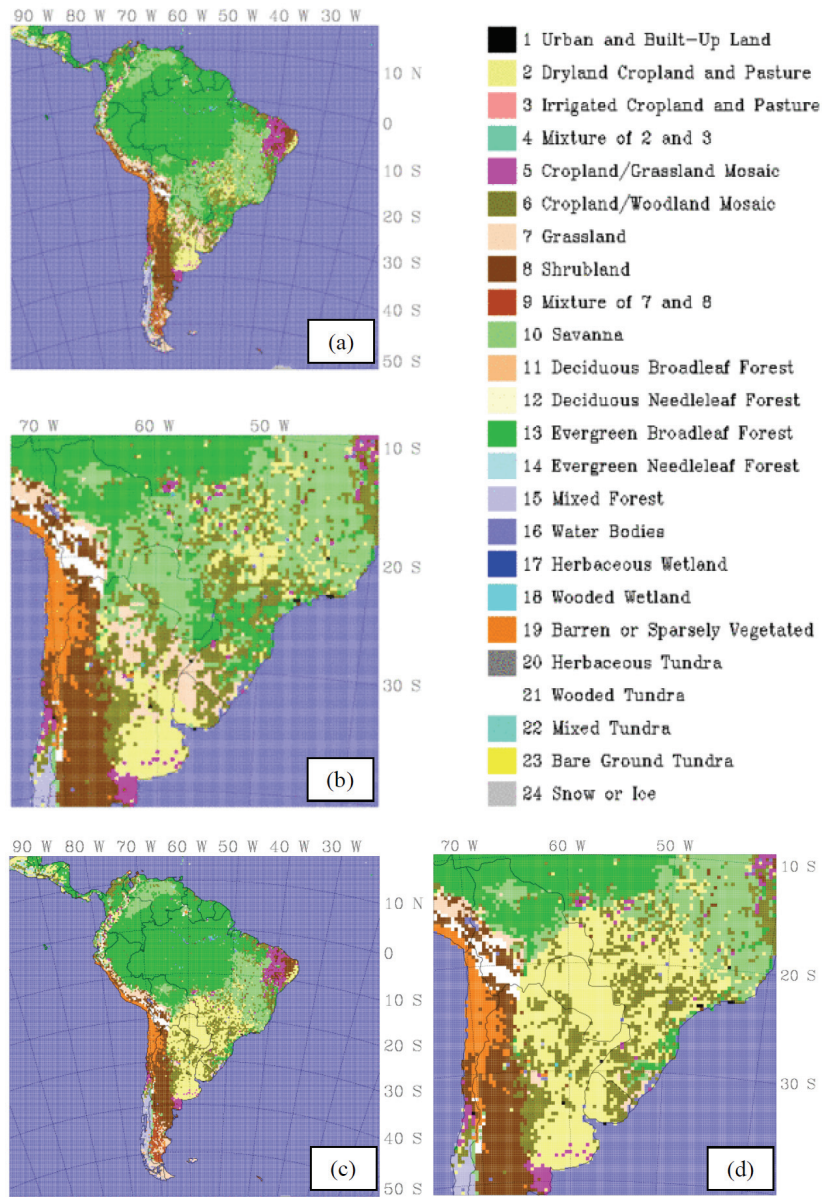


Fig. 1. CNTL 실험의 (a) 성긴 격자와 (b) 상세 격자에서의 육지피복 분포와, CROP 실험의 (c) 성긴 격자와 (d) 상세 격자에서의 육지피복 분포 (Lee, 2010).

Table 1. 수치모형에서 사용된 지표면의 물리 파라메타들의 값들 (Lee, 2010).

Type of land cover	Surface albedo [%]	Surface roughness [cm]	Stomatal resistance [$s\ m^{-1}$]	Surface emissivity [%]
Savanna	20	15	70	92
Evergreen Broadleaf Forest	12	50	150	95
Grassland	23	10	40	92
Dry Cropland and Pasture	20	5	40	92

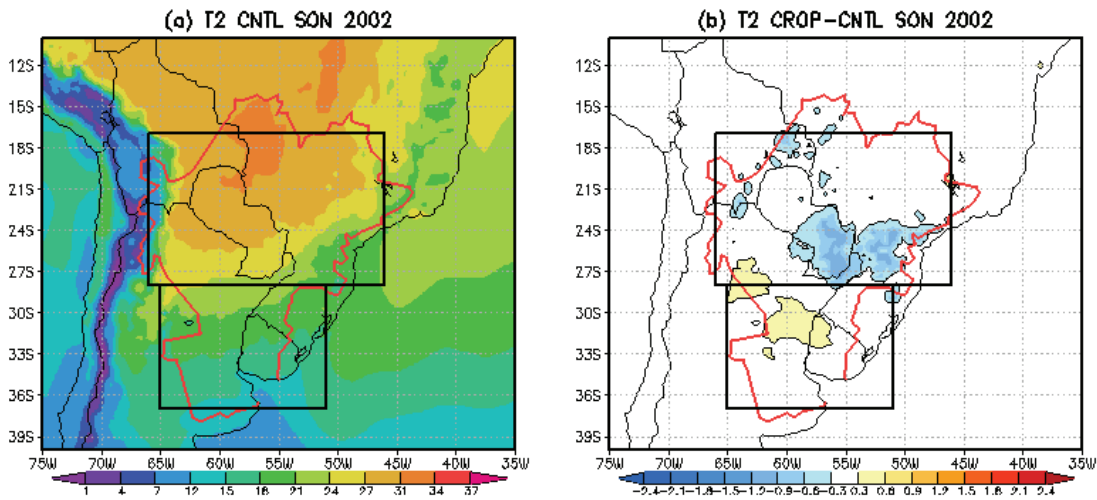


Fig. 2. (a) CNTL 실험의 2-m 온도($^{\circ}C$)와 (b) CROP 실험과의 온도 차이(CROP-CNTL) (Lee, 2010).

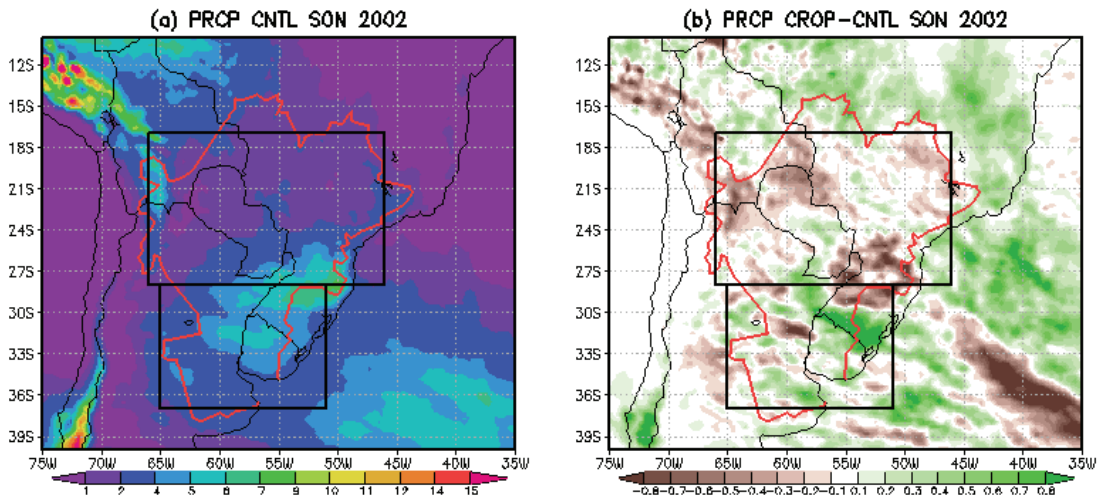


Fig. 3. (a) CNTL 실험의 강수(mm/day)와 (b) CROP 실험과의 강수 차이(CROP-CNTL) (Lee, 2010).