

시계열 공간자료들의 평균과 변량의 상관관계에 관한 연구

박 수 진

서울대학교 사회과학대학 지리학과

1. 서론

최근 원격탐사기법과 지리정보시스템들이 급격하게 발달하면서, 공간상의 각종 지리사상들의 시계열적인 자료들이 증가하고 있다. 일반적으로 지리학계의 관심은 특정 지리사상의 시간적인 변화 (Time series analyses)와 공간상의 분포 (Spatial statistics)로 크게 대별되어 왔으며, 이 두 가지의 요인들을 종합적으로 고려하는 경우는 극히 드물다고 하겠다. 각종 인문 및 자연현상들의 공간상의 분포와 이러한 분포의 시간에 따른 변화는 특정 지리적 대상들의 공간상의 프로세스를 규명하는데 효과적으로 사용될 수 있으며, 특히 최근 관심이 급증하고 있는 환경변화와의 관련성을 밝히는 데 중요한 기회를 제공하게 될 것이다.

이 연구는 특정 지표현상의 시간적 변화의 평균 (mean)과 변량 (variation)의 상관관계에 대한 규명을 주목적으로 한다. 작업가설은 지리사상의 분포의 시간적인 변화는 공간상에서 무작위적으로 나타나는 것이 아니라, 특정한 수학적·통계적 상관성을 가지고 있다는 것이다. 특정지역에서 종의 수와 그 분산 (variance)은 지수함수식 (exponential relationship)을 보이며, 로그변환시에는 선형관계를 본인다는 것은 생물학분야에서 이미 잘 알려져 있다 (Taylor, 1961). 이러한 관계는 야외 조사시 적절한 표본수와 그에 따른 오차를 산정하는 데 이미 보편적으로 사용되고 있다 (Taylor's power law). 지리공간변수들의 평균과 변량에 관계에 대한 논의는 최근 기후변화에 따른 이상기후의 발생에서도 활발한 논의가 진행되고 있다. IPCC는 최근 보고서에서 증가하는 지구의 기후는 특정지역에서 기후의 분산을 증가시킬 가능성을 제시하였다. 이에 반하여, Roberson (2002)은 미국내의 1,062개의 기상관측소를 대상으로 한 연구에서, 대부분의 지역에서 평균과 분산간에는 특정한 관계를 발견할 수 없었거나 약한 음의 상관관계 (평균온도가 증가하면 평균분산은 감소)를 보인다고 주장하였다.

이 연구에서는 서로 다른 지역에서 구득한 시계열 공간자료들을 통해 상기한 기능적 관계의 존재여부를 파악한 뒤, 추출된 관계를 이용하여 지표면에서 나타나는 변화의 정도를 파악하는 기법을 제시하였다.

Table 1. 이 연구에서 사용된 시계열공간자료들의 위치 및 자료구득방법의 요약

Study Area	Data set	Periods	Temporal data set	Geographical Location	Size	Measurement Methods
Northern Region, Ghana	NDVI from Landsat	1984 - 1999	4	8°0 - 10° 50' N 3° 40' - 1° 40' E.	100km × 100km	LANSAT TM and ETM
Khorezm province, Uzbekistan	1997 groundwater salinity	1989 - 2000	36	60°05' - 61°39' N 41°13' - 42°02' E	Approximately 60 km × 30km	Total dissolved salts
Tarrawarra, Australisa	soil moisture for 500 points	1995 - 1996	13	37°39' S, 14°53' E	10.5 ha	TDR probe (30cm depth)

2. 연구대상 및 자료

이 연구에서는 사용된 자료들은 1) 아프리카 가나 (Ghana) 중부지역의 NDVI (Normalised Differential Vegetation Index) 자료, 2) 중앙아시아 우즈베키스탄 (Uzbekistan)에서의 측정된 지하수 염도자료, 그리고 3) 오스트레일리아 (Australia)의 소규모 유역에서의 토양수의 분포였다. 측정 방법과 측정시간, 연구지역의 위치와 크기에 관한 정보들을 요약한 것은 [표 1]이며, 보다 구체적인 연구지역 및 방법론에 대한 이해는 Ibrakimov et al., (2003)와 Park et al. (2003)을 참조하기 바란다.

3. 시계열적 공간자료의 평균 및 표준편차(standard deviation)의 상관관계

[그림 1]은 이 연구에서 사용된 세 개의 자료들의 평균과 표준편차의 관계를 도화한 것이다. 두 변수간의 회귀방정식은 표의 하단부에 표시되어 있다. 평균 그리고 표준편차 모두 심한 양의 왜도 (skewness)를 보여, \log_{10} 을 이용하여 변형을 가한 뒤에 회귀분석을 실시하였다. 전체적으로 세 지역의 지표측정자료에서 공통적으로 뚜렷한 양의 상관관계를 보이고 있는 것으로 나타났으며, R^2 의 값은 Ghana의 NDVI와 Uzbekistan의 지하수염도는 각각 0.52와 0.51을 보였다. Australia의 토양수 분포의 경우 양의 상관관계는 뚜렷하였지만, R^2 가 0.28로 상대적으로 낮게 나타났다.

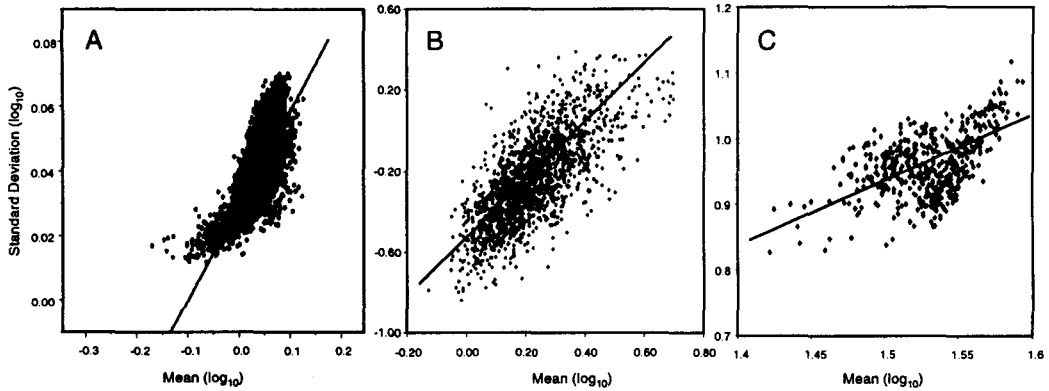


Figure 1. 평균과 표준편차간의 상관관계. A) Ghana의 NDVI ($\log_{10}(\sigma) = 0.03 \times 0.29 \log_{10}(\text{mean})$, $R^2=0.51$), B) Uzbekistan의 지하수염소 ($\log_{10}(\sigma) = -0.51 \times 1.22 \log_{10}(\text{mean})$, $R^2=0.52$), C) Australia의 토양수분자료 ($\log_{10}(\sigma) = -0.32 \times 0.84 \log_{10}(\text{mean})$, $R^2=0.28$)

평균과 표준편차간의 이러한 뚜렷한 양의 상관관계는 지표상의 한 지점의 자연지리학적 현상의 평균값이 높아지면 시계열적으로 더 많은 변이를 보인다는 것을 의미한다. 보다 구체적으로 설명하면, 사바나 지역에서 식생내의 염록소는 그 밀도가 높은 식생의 경우 계절 혹은 매년을 단위로 관찰 하였을 때, 밀도가 낮은 식생에 비해 높은 변량을 보인다는 것이다. 마찬가지로 Australia의 토양수 자료에서 유추할 수 있는 사실은 사면의 곡부에서는 주변사면으로부터 흘러드는 물에 의해 토양의 평균함수량이 주변 사면부보다 높지만, 계절적인 변화측면에서 보면 곡부에서 보이는 시계열적인 차이는 주변의 사면부보다는 높게 나타난다는 것을 의미한다. 유사한 예를 인문현상에서 찾아보면 상대적으로 경제수준이 높은 지역과 낮은 지역을 비교할 경우, 경제수준이 높은 지역내의 소득수준의 시계열적인 변량이 경제수준이 낮은 지역의 변량에 비해 높게 나타난다고 볼 수 있다. 부유한 지역에서는 상대적으로 소득의 차이가 크게 나타나지만, 빈곤지역의 소득은 전체적으로 거의 유사할 것이라는 가설이 성립될 수 있을 것이다.

이 연구에서 제시된 결과는 Taylor에 의한 동물종의 수와 그 변량의 관계와 일치하는 결과이다. 하지만 Roberson (2002)의 미국 내 기후특성에 관한 연구와는 상치되는 것이다. 이 연구에서 이러한 연구결과의 차이를 충분히 규명하기는 어려울 것을 보이지만, 그 차이가 연구범위의 차이에서 발생하는 것이라는 가설을 설정해본다. Roberson의 연구는 광범위한 전미대륙을 대상으로 이루어진 연구인 반면, 이 연구에서 사용된 자료들을 주로 지역단위 혹은 소규모유역이 연구지역이다. 이 가설에 대해서는 보다 체계적인 연구가 필요하다.

4. 응용사례 : Ghana의 인위적인 지표피복의 변화의 정량화시도

상기에 제시한 시공간자료들의 평균과 표준편차의 관계는 다양한 목적에 사용될 수 있을 것으로 예상된다. 이 글에서는 인위적인 지표피복변화의 파악 (change detection)에 사용된 예를 제시하며, 보다 구체적인 방법과 논의들에 대해서는 Park et al. (2003)를 참조하기 바란다. 지표환경변화의 연구에서 최우선시 되는 과제는 지표면에서 나타나는 제반 현상들의 시계열적 변화를 포착하는 것이다. 문헌에는 이미 많은 변화파악을 위한 알고리즘들이 제시되고 있으며, 그 구체적인 방법들을 비교한 연구들이 다수 존재한다. 현재 사용되고 있는 방법들 중에는 특정한 대상들을 두 개의 시간대에서 단순 비교평가하는 방법이 주를 이루고 있다. 하지만 많은 경우 식생피복상태, 지표면의 수문현상 등의 지표현상들이 계절적인 요소 등으로 인해 심한 시계열적인 변동 (fluctuation)을 보이고 있으며, 넓은 지역을 대상으로 한 연구는 측정시 발생하는 각종 어려들에 의해 변화를 감지하는 것이 어려운 경우가 많다. 그 대안으로 통계적 유의성을 확보할 수 있을 정도의 많은 수의 시계열적 자료들을 먼저 분석한 뒤, 그 결과를 공간상에 투영하는 것이다. 하지만 시공간자료의 구득에 소요되는 비용과 시간을 생각한다면 이러한 방법도 역시 상당한 한계를 가질 수 밖에 없다. 상기에 제시한 관계는 지표면에서 계절적인 변화를 제외한 인위적 혹은 기타요인들에 의해 발생할 수 있는 변화의 변량을 감지하는 방법에 응용될 수 있을 것으로 본다.

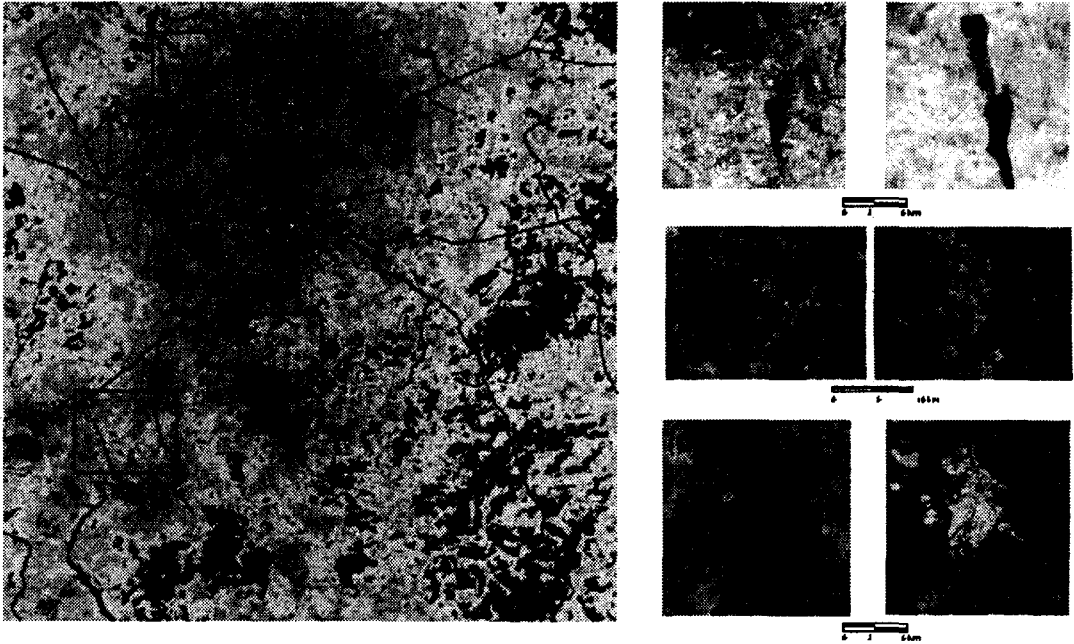
어떠한 지표현상의 시계열적 공간자료들은 다음과 같은 세가지의 변량을 가지고 있다.

$$\delta_i^2 = \delta_d^2 + \delta_s^2 + \varepsilon \quad \text{식 (1)}$$

여기서 δ_d^2 는 자연상태의 일반적인 특성과는 다르게 나타나는 발생하는 변량이며, δ_s^2 는 계절적 혹은 자연상태에서의 시계열적 변화에 의한 자연적인 변량이다. 그리고 ε 는 측정시에 발생할 수 있는 각종 오차를 포함한 기타의 원인으로 규정한다. 발생하는 오차를 정확하게 규명하기는 현실적으로 어렵기 때문에 이 변량은 공간적으로 무작위적으로 나타나며, 정규분포를 보인다고 가정한다. 상기의 식(1)에서 특정 지표현상이 자연상태에서는 표준과 표준편차간에 뚜렷한 상관관계를 가진다고 가정한다면 (그림 1 (A) 참조), 시계열적 자연적인 변화와 오차를 제거한 인위적인 변화의 정도는 [그림 1]의 A에서 제시된 회귀식의 잔차를 추출함으로써 구할 수가 있다. 얻어진 잔차는 지표 자료의 일반적인 평균과 표준편차의 관계에서 얼마만큼의 거리를 가지는가를 지수화할 수 있으며, 그것은 인위적인 변화에 의한 변량을 상대적인 지수로 표시한 것으로 간주할 수 있다.

잔차분석후에 나타난 결과를 도화한 것이 [그림 2]이며, Ghana에서 지난 15년간 인위적으로 발생한 지표피복변화의 정도를 표시한 것이다. 그 결과의 적용가능성을 예시하기 위해, 가장 심각한 변화를 보인 3지역의 지표상태를 비교하였다. 이 연구에서는 지표에서의 실측자료를 통해, 사용된 방법의 신뢰성을 파악하지는 못하였다. 하지만 지난 15년간 급격한 변화를 겪은 지역들을 효과적으

로 추출해내고 있는 것을 쉽게 알 수 있다. 특히 도로망을 중심으로 급격한 지표변화가 집중되어 있다는 사실에 주목할 필요가 있으며, 이 결과는 현재의 전문가들의 관찰과 일치하는 것이다. 제시된 방법이 구체적인 지표피복단위 (주거지, 산림, 농경지 등)의 변화를 알려주지는 못하는 한계를 가지지만, 지역내에서 발생한 인위적인 변화를 파악하고 상대적으로 지수화하는 데는 유용하게 사용될 것으로 보인다.



(그림 2) 가나 중부지역에서 지난 15년간 나타난 인위적인 지표피복의 변화정도. 변화가 급격하게 나타난 3개의 지점을 대상으로 한 1984년과 1999년의 LANDSAT 위성자료로 급격한 변화와 원인을 잘 나타내고 있다. (A) 댐건설에 의한 관개시설, (B) riverblindness가 없어지고 난 후 하천주변으로의 농경지개간, (C) 새로운 마을의 형성으로 인한 산림벌채.

■ 참고문헌

- IPCC, 2001. *Climate change 2001: The scientific basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge university Press.
- Ibrakhimov, M, S.J. Park, and Paul L.G. Vlek. 2003. Development of Groundwater Salinity in a Region of the Lower Amu-Darya River, Khorezm, Uzbekistan. In J. Ryan and P.L.G. Vlek (eds.) *Central Asia Programme (in press)*.
- Park, S.J., N.van de Giesen, and P.L.G. Vlek. 2003. Optimum spatial scale for modelling land use change processes in a savanna landscape in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems and Environment (in press)*
- Roberson, S.M. 2002. Relationships between and standard deviation of air temperature : implications for global warming. *Climate Research* 22: 205-213.
- Taylor, L. R.1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature*, 189:732-735.