

벡터매개 질병(vector-borne diseases) 공간역학을 중심으로 한 보건지리학의 최근 연구

박선엽* · 한대권**

Reviews in Medical Geography: Spatial Epidemiology of Vector-Borne Diseases

Sunyurp Park* · Daikwon Han**

요약 : 기후변화가 가져올 벡터매개 질병(vector-borne diseases or VBDs)의 증가는 인구 집단의 건강에 대한 중요한 위협 요인이며, 앞으로 국제사회가 심각하게 대처해야 할 공중보건 문제로 부각되고 있다. 지구온난화로 대표되는 광범위한 기후변화로 한반도 기후 특성이 아열대화 되어가는 가운데, 토지이용, 인구분포, 생태 환경 변화에 따른 영향으로 각종 질병의 발생과 확산 가능성이 유례없이 높아지고 있다. 특히, 모기, 진드기와 같은 매개체에 의해 전염되는 벡터매개 질병은 최근 20년 동안 이들 매개 곤충의 서식범위가 확대되어 질병 발생 빈도가 현격하게 증가했다. 보건지리학은 국지적인 환경과 보건 자료뿐 아니라 보다 광역적인 자료들을 통합하여 처리, 분석하고, 공간 및 비공간 자료간의 연관성 또는 상호관계를 파악하여 궁극적으로 질병의 시공간적 변화를 탐구하는 것에 초점을 두고 발전되어 왔다. 인문 및 자연환경 요인들을 GIS를 통해 다면적으로 분석하여, 개인의 건강관련 지표들과의 상관성을 기술하고 분석하는 공간역학(spatial epidemiology)은 보건지리학의 새로운 영역으로, 공간과학, 환경과학, 그리고 역학을 세 가지 주요 축으로 하여 급속히 성장하고 있다. 향후 보건지리학이 기여할 수 있는 주요 연구영역 중 하나로는, 보건 연구에서 주요 수단으로 사용되고 있는 보건 감시체계에 지리정보시스템을 기반으로 한 모니터링 시스템을 도입하는 것을 들 수 있다. 특히, 실시간 모니터링 방법론, 조기발생 감식 시스템의 구축, 그리고 관련 요인들의 공간변이를 예측하는 연구 등은 벡터매개 질병의 역학을 이해하는 데 필수적인 주요 연구 과제들이 될 것이다.

주요어 : 기후변화, 벡터매개 질병, 보건지리학, GIS, 공간역학

Abstract : Climate changes may cause substantial changes in spatial patterns and distribution of vector-borne diseases (VBD's), which will result in a significant threat to humans and emerge as an important public health problem that the international society needs to solve. As global warming becomes widespread and the Korean peninsula characterizes subtropical climate, the potentials of climate-driven disease outbreaks and spread rapidly increase with changes in land use, population distributions, and ecological environments. Vector-borne diseases are typically infected by insects such as mosquitoes and ticks, and infected hosts and vectors increased dramatically as the habitat ranges of the VBD agents have been expanded for the past 20 years. Medical geography integrates and processes a wide range of public health data and indicators at both local and regional levels, and ultimately helps researchers identify spatiotemporal mechanism of the diseases determining interactions and relationships between spatial and non-spatial data. Spatial epidemiology is a new and emerging area of medical geography

* 부산대학교 지리교육과 교수(Professor, Department of Geography Education, Pusan National University, Busan, Korea)

** Department of Epidemiology and Biostatistics, Texas A & M University, College Station, TX, USA

integrating geospatial sciences, environmental sciences, and epidemiology to further uncover human health-environment relationships. An introduction of GIS-based disease monitoring system to the public health surveillance system is among the important future research agenda that medical geography can significantly contribute to. Particularly, real-time monitoring methods, early-warning systems, and spatial forecasting of VBD factors will be key research fields to understand the dynamics of VBD's.

Key Words : climate change, vector-borne disease, medical geography, GIS, spatial epidemiology

1. 서론

최근 지리정보시스템(Geographic Information Systems, 이하 GIS)의 비약적인 발전으로, 질병의 지리적인 특성을 규명하기 위해 지리학의 공간과학적 방법론이 환경보건 분야에 효과적으로 적용되고 있다(Glass *et al.*, 1995; Ceccato *et al.*, 2005; Ostfeld *et al.*, 2005; Sui, 2007; Ward, 2008). 지구온난화로 대표되는 광범위한 기후변화로 한반도 기후특성이 아열대화 되어가는 가운데, 토지이용변화, 인구분포, 생태환경변화에 따른 영향으로 각종 질병의 발생과 확산 가능성이 증가하고 있다(Brownstein *et al.*, 2005; Brisbois and Ali, 2010). 반복되는 이상 기상 현상, 해외여행 및 무역활동의 증가와 맞물려 심각한 보건문제가 국가적 재난 수준으로 번지는 사례가 빈발함에 따라, 광범위한 지리적 범역을 대상으로 한 질병 연구가 매우 중요한 분야로 인식되고 있다. 특정 발병원을 지리적으로 파악하고, 질병발생에 영향을 미치는 환경요인들을 공간적으로 분석하여 그 확산경로와 예상되는 피해를 추정하는 일은 그 동안 보건의료 전문가들이 일반적으로 적용해온 질병관리법과는 차이가 있다. 최근 들어 질병의 공간현상과 관련된 인과관계를 추론하는 데에 보건지리학(또는 의료지리학, medical geography)을 연구하는 지리학자들의 역할이 커지고 있다.

근대 보건역학은 공간분석적인 전통에 기반하고 있다(Ward, 2008). 1850년대 런던의 콜레라로 2주간 500명이 넘는 사망자가 발생한 사건은 보건지리학 발전에 공간적 분석이 핵심적 역할을 하게 된 단초를 마련하였다. 런던 의사였던 John Snow는 시내의 식수

펌프의 오염이 당시 창궐한 콜레라의 원인이라는 점을 밝혀냈는데, 이를 증명해 내기 위해 그는 사망자가 군집화되어 있음을 보여주는 단순한 지도를 통한 자료의 시각화를 사용하였다(Johnson, 2006). 공공보건역학은 이미 발생한 질병의 개인적 치료라기보다는 질병 발생을 예방하여 공공복지를 실현하는 데에 큰 목적이 있기 때문에 질병의 시공간적 분포와 발현 가능성을 연구하는 것이 공공건강 관리의 핵심 과제이다(Schwabe, 1984; Ward, 2008).

보건지리학은 국지적인 환경보건 자료뿐만 아니라 광역적인 자료들을 통합하여 처리, 분석하고, 공간 및 비공간 자료간의 연계성 또는 상호관계를 분석하여 궁극적으로 질병의 시·공간적 변화를 탐구하는 분야이다(Ward, 2008). 특히, 인문 및 자연환경 요인들을 GIS를 통해 다면적으로 분석하여, 개인의 건강관련 지표와의 상관성을 기술하고 분석하는 공간역학(spatial epidemiology)의 학문적 역할이 커지고 있다(Elliott and Wartenberg, 2004; Nuckols *et al.*, 2004). 보건지리학 분야에서 비중있게 다루어지는 공간역학은 공간과학, 환경과학, 그리고 역학을 세 가지 주요 축으로 하여 상호 보완과 상승효과를 통해 인간 보건과 환경 인자간의 관계를 규명하는 것을 궁극적인 목표로 하고 있으며, GIS와 같은 공간분석기법의 발전은 앞으로 보건 분야의 연구에 중추적 역할을 담당할 것으로 전망된다(Han and Hwang, 2011).

세계보건기구(WHO)는 기상과 관련된 위생문제뿐만 아니라 기온과 강수 패턴의 변화가 가져올 벡터매개 질병(vector-borne diseases or VBDs)의 증가를 인간에 대한 중요한 위협으로 강조하고 있으며, 앞으로 국제사회가 심각하게 대처해야 할 공중보건 문제로 보고 있다(WHO, 2009). 일반적으로 기후환경은

질병을 옮기는 병원체나 매개체 관리에 직접적인 영향을 미치기 때문에, 현재 진행되는 온난화의 결과로 많은 벡터매개 질병의 분포 지도가 변화할 것으로 예상된다. 기온의 변동, 강수 패턴, 폭풍의 강도, 홍수와 가뭄의 빈도, 해수면 상승 등으로 설명되는 전지구적 기후변화로 인간의 보건 환경도 크게 바뀌고 있는데, 특별히 벡터매개 질병은 기후변화의 규모와 강도에 매우 민감한 영향을 받는다(Gage *et al.*, 2008). 기후변화가 벡터매개 전염병에 직접적으로 영향을 주는 이유는, 절지동물류 곤충과 같은 질병의 매개체들이(vectors) 변온동물(cold-blooded)에 속하고, 이들의 생식, 발달, 행동, 개체군 성장에 미치는 온도 변화의 영향이 절대적이기 때문이다(Shope, 1991; Gubler *et al.*, 2001; Patz and Reisen, 2001; Hunter, 2003; Sutherst, 2004; Harrus and Baneth, 2005; Watson *et al.*, 2005; Patz and Olson, 2006; Rogers and Randolph, 2006; Perez, 2007). 모기와 같은 벡터의 서식과 분포는 산란지의 수분조건에도 크게 좌우되는데, 이를 결정짓는 강수의 계절성과 증감량 역시 기후변화에 따라 지역적으로 크게 변화하고 있다. 또, 기후요소들은 이들 벡터들의 숙주 역할을 하는 척추동물의 개체수 및 분포와 밀접한 관련성을 갖기 때문에, 결과적으로 벡터의 개체수 동태(population dynamics)와 감염 과정에 영향을 끼치게 된다.

북미 지역에서는 최근 10여 년간 지리정보 취득, 처리 및 분석기법의 빠른 발전으로 보건지리학 연구가 괄목할 만큼 성장하였다. 아쉽게도, 우리나라의 보건지리학 연구 성과는 거의 전무하다고 볼 수 있다. 기후변화를 중심으로 한 환경변화와 국민 보건에 대한 관심이 크게 높아진 점을 감안할 때, 보건지리학은 학제적 접근을 통해 지리학계에서 새로 개척하고 발전시킬 분야가 가야 할 분야이다. 본고는 보건분야에서의 지리학 응용 연구와 연구자가 존재하지 않는 상황에서 벡터매개 질병을 중심으로 한 보건지리학의 최근 연구 성과들을 종합하여 고찰함으로써 이 분야에 학문적인 관심을 높이고 잠재적 연구 인력의 참여를 유도할 목적으로 집필되었다.

2. 벡터매개 질병 개관

숙주로부터 병원체를 다른 개체로 옮겨 감염병을 유발하는 생물체, 즉 감염매개체를 벡터(vector)라고 부른다. 벡터매개 질병은 통상 작은 절지동물 또는 곤충을 통해 전파되지만, 이 과정은 질병과 관련된 특정 생태학적 시스템 속에서 발현된다. 말라리아, 뎅기열, 웨스트나일 바이러스(West Nile Virus, or WNV) 등은 곤충을 매개로 전염되는 대표적인 질병이며, 라임병, 렙토스피라증, 쯤쯤가무시증은 설치류와 진드기를 매개로 하는 전염병이다. 최근의 보건지학적 접근방식은 질병의 단순한 분포를 나타내는 것 외에도 기후, 지형, 식생, 동식물 분포 등을 주요 인자로 포괄하는 환경시스템적 역학(landscape epidemiology) 기법을 채택한다(Pavlovsky, 1966; Ostfeld *et al.*, 2005). 인구의 증가 및 집중, 생산 활동의 변화, 인간의 이동 패턴의 광역화는 이러한 인자들의 변화와 교란을 일으킴으로써 전염성 질병의 발생과 재발을 동인하는 중요한 인자가 된다. 최근의 환경변화로 인한 보건문제에 직면하여, 생태적 특성에 주목한 “생태역학(ecoepidemiology)”이 중요 학문분과로 성장하고 있다(Cromley and McLafferty, 2002).

벡터매개 전염병에 미치는 기후와 기상의 영향은 벡터와 숙주, 그리고 병원체에 이르기까지 매우 다양하게 나타난다(Table 1). 기온은 가장 대표적인 환경요인인데, 벡터 중에 따라 생존율에 긍정적 또는 부정적 영향을 준다. 일부 벡터의 경우, 온난화의 영향으로 높은 고도와 위도에서 생존율이 과거보다 증가하는 추세이다. 기온의 변화는 벡터의 개체수를 변화시킬 뿐만 아니라 숙주와의 접촉 빈도와 흡혈율에도 직접적인 영향을 준다. 이는 다시 벡터의 생존율에 영향을 주어 전체적으로 개체수의 계절적 변화를 가져온다. 강수량이 증가할 경우에는 일반적으로 벡터 유충의 서식처가 늘어나게 됨으로써 개체수가 증가하는 결과를 낳는다. 높은 습도는 벡터의 생존율 증가에 유리하며, 이례적인 폭우가 발생할 경우에는 벡터의 숙주 선택과 바이러스 감염의 시기가 유사해질 가능성이 있다. 또, 많은 비나 눈은 홍수를 유발하여 벡터 서

Table 1. Climatic factors affecting infection and transmission of VBDs.
 벡터매개 질병의 감염 및 전파에 영향을 주는 기후 요소

질병(원인 병원체)	벡터	관련 기후요소	기후변화의 영향
말라리아(<i>Plasmodium vivax</i> , <i>P. falciparum</i>)	Anopheles	기온, 강수량, 습도, 엘니뇨 영향, 해수면 온도	질병 분포; 벡터 내 병원체 발달; 벡터의 성장, 생식, 분포, 활동, 개체수; 감염패턴과 속도; 대유행
덴기열(Dengue virus)	Aedes	기온, 강수량	대유행, 모기산란, 개체수, 감염강도
황열(Yellow fever virus)	Aedes	기온, 강수량	대유행, 발병, 분포, 개체수, 모기 산란, 감염강도
웨스트 나일바이러스(West Nile virus)	Culex	기온, 강수량	감염율, 벡터 내 병원체 발달, 질병과 벡터의 분포
라임병(<i>Borrelia burgadorferi</i> , <i>B. garinii</i> , <i>B. afzelii</i>)	Ixodes ticks	기온, 강수량, 습도	발병 빈도, 벡터의 숙주 선택 계절성, 벡터 분포
쯔쯔가무시증 (<i>Orientia tsutsugamushi</i>)	Leptotrombidium	기온, 강수량	분포, 벡터의 생육과 증식

Source: Gage *et al.*, 2008

식지를 제거해 낼 수도 있기 때문에 개체수 감소의 직접적 원인이 되기도 한다. 반대로, 강수량이 감소하게 되면 소규모 하천이 말라 물웅덩이를 만들어 모기와 같은 벡터의 서식처를 제공할 수 있다. 장기적인 가뭄이 발생할 때는 평상시보다 많은 양의 물저장 수요를 일으켜 고여 있게 되는 물로부터의 모기 번식을 증가시킬 가능성이 높아진다(Patz *et al.*, 2008). 여기서는 많은 종류의 벡터매개 질병 중에서 대표적인 것만을 선별하여 기술하고자 한다.

말라리아는 모기를 매개로 하는 열대성 질병 중에서 가장 광범위하게 퍼져 있으며, 발열과 오한, 두통, 허약증세, 빈혈증세, 비장비대, 심한 복통, 그리고 다른 질병에 대한 면역력 약화 등의 증세를 동반한다. 이 질병은 *Plasmodium* 속의 네 가지 서로 다른 종의 원충 중 하나로부터 발병한다. 학질모기(*Anopheles*)가 이 말라리아 원충, 즉 *Plasmodia*를 옮기는데, 열대 열 말라리아원충(*Plasmodium falciparum*)이 가장 흔하고 위험하다. 세계보건기구 추산에 따르면, 2000년 기준으로 3억에서 5억에 이르는 인구가 말라리아에 감염되고 있고, 이로 인한 사망자 수는 매년 최대 250만 명에 달한다. 말라리아 감염자 수는 주로 아프리카 지역에 집중되어 있는데, 이 중 90% 이상, 그리고 사망자의 75%가 사하라 주변 아프리카 지역에서

보고되고 있다. 기온 상승, 인구성장, 벌목의 결과로 말라리아가 아프리카의 고산지역으로 확산되고 있는 실정이다. 최근 온난화로 인해 말라리아 매개체인 얼룩날개모기(*Anopheles mosquito*)의 서식 범위가 넓어져 향후 50년간의 기온 상승을 최소 2℃로 가정할 때, 말라리아 발생 가능지역의 면적이 현재 지표면의 42%에서 60%로 확대되는 결과를 낳을 것으로 예측된다(Hidore *et al.*, 2010).

WNV는 신종 바이러스는 아니지만, 1999년 뉴욕에 상륙하여 7명의 사망자가 발생한 것을 계기로 WNV에 대한 미국 보건 당국의 관심이 크게 높아졌다. WNV는 모기를 전파자로 하여 새들로 전파되는데, 이 질병이 근절되지 않는 이유는 WNV를 옮기는 일부 모기가 겨울에 죽지 않고 실내에서 살아남기 때문으로 추정된다. WNV가 인간에 미치는 영향은 대체로 미미한 편인데, 대부분 감염자들은 아무런 증상이 없거나 가벼운 독감 같은 증세가 나타나는데 그친다. WNV 발병 사례가 보고된 이후, 미국 내에서 지속적으로 감염이 일어나고 있기 때문에 이의 전파를 규명하기 위한 연구 성과를 빠르게 쌓아가고 있다(Anderson *et al.*, 1999; Lanciotti *et al.*, 1999). WNV는 미국에서 대표적인 벡터매개 질병임을 감안하여 연구 동향 편에서 보다 자세하게 다루고자 한다.

뎡기열은 모기를 매개로 하는 질병으로 비교적 오래된 질병이지만 생명을 위협하는 악성 감염병으로 등장한 것은 비교적 최근의 일이다. 이 질병은 동남아시아에서 발생하여 남미와 카리브해를 거쳐 18세기 후반에 미국 본토로 확산된 것으로 추정된다(Meade and Earickson, 2005). 뎡기열은 낮에 무는 모기에 의해 전달되는 바이러스성 감염병으로, 주로 도시지역에서 발생하는 것으로 알려져 있다. 이것은 아프리카에서 말라리아가 주로 농촌 지역에서 발생하는 것과는 대조되는 현상으로 도시 지역의 위생 상태와 밀접히 연관되어 있다. 살충제의 사용으로 20세기 중반까지 미미했던 뎡기열 발병이 전세계적으로 최근 들어 증가추세에 있으며, 특히 중남미, 멕시코, 인도, 베트남, 카리브해 지역에 흔히 발생하고 있다(Barclay, 2008). 이례적으로 강수량이 많았던 1992년 호주에서도 뎡기열 유행이 있었고, 높아진 기온으로 인해 모기의 서식처가 태평양 연안으로 확대 되는 추세이다. 2007년에는 최근 십여 년 기간 중 가장 큰 규모의 뎡기열 발생이 카리브해 연안 도시 지역을 중심으로 유행하여 200여 명의 사망자가 발생하기도 했다(Hidore *et al.*, 2010). 예측하기 힘든 강수량 분포 변화와 전반적인 온난화, 저비용의 모기퇴치법 개발부진, 여행의 증가 등으로 향후 뎡기열이 중요한 문제가 될 것으로 예상된다(Barclay, 2008).

쯔쯔가무시증은 들쥐나 야생동물에 기생하는 병원체인 쯔쯔가무시(*Orientia tsutsugamushi*)에 감염된 털진드기 유충이 야외에서 사람을 물어 감염을 유발하는 질병이다. 털진드기는 숙주인 설치류 서식지에 많이 분포하는데, 설치류의 먹이와 서식환경에 따라 계절적 변동이 큰 것으로 알려져 있다. 우리나라의 경우 털진드기의 주된 숙주는 야생들쥐로 농경지와 야산에 주로 서식한다. 따라서, 농경지 주변의 들쥐류가 쯔쯔가무시증을 일으킬 가능성이 높다. 쯔쯔가무시증은 1920년대 일본에서 감염 사례가 보고된 후, 우리나라에서는 1927년 남해안 일대에서 환자가 발생했다. 야외활동이 많은 농어민에서 발병하는 경우가 많고, 1990년대 이후로 감염사례가 급증했다. 이에 대한 정확한 원인 규명은 이루어지지 않았지만, 매개체 번식에 유리한 온난화와 영농방식의 변화에 기인

하는 것으로 추정되고 있다(Kong *et al.*, 2007).

라임병은 미국 코네티컷주 Old Lyme에서 처음 발견되었는데, 이 도시의 이름을 따서 붙여진 이름이다. 주로 덩불, 초원, 숲 가장자리에 사는 진드기를 감염시키는 세균(보렐리아 부르그도페리, *Borrelia burgdorferi*)에 의해 발생하는 세균성 질환이다. 라임병은 따뜻한 날 숲이나 초지 등에 서식하는 진드기가 이 세균에 감염된 후 사람을 물면서 전파되며, 사람 간에는 전파되지 않는다(Glass *et al.*, 1994). 감염 진드기는 주로 동물, 특히 사슴이나 작은 설치류의 몸에 붙어 다니는데, 라임병은 이들 매개체들이 서식하기 유리한 날씨가 이어질 때 쉽게 유행한다. 미국의 경우, 라임병은 가장 흔한 벡터매개 질병인데, 지리적으로 미북동부에 집중되어 발생하고 있다(Turner, 1989; Glass *et al.*, 1995; Orloski *et al.*, 2000). 선행 연구에 의하면, 라임병은 기온과 강수량의 유의한 상관관계를 보인다(Ogden *et al.*, 2004; McCabe and Bunnell, 2004). 기온과 수증기압 조건에 따라 진드기의 개체수 변화가 민감하게 영향받으며, 진드기의 생존을 위해서는 -7°C 이상의 기온이 유지되어야 한다(Brownstein *et al.*, 2003). 또, Subak(2002)은 라임병 발병 빈도는 해당 연도 1~2년 전의 강수량과 유의한 상관관계가 있음을 보고하기도 했다. 기후변화에 따른 분포 지역의 북상 속도가 빨라지는 것을 고려했을 때, 2020년 경에는 라임병의 북한계선이 약 200km 북상할 것으로 전망되고 있다(Ogden *et al.*, 2006).

본고에서는 최근 진행되어온 벡터매개 질병의 연구들을 크게 북미 지역, 아프리카 및 아시아 지역, 그리고 우리나라로 구분하여 고찰하고자 한다. 이러한 단순화된 논의 방식을 선택하게 된 것은, 우선 벡터매개 질병의 종류가 너무 다양할 뿐만 아니라 각 질병과 관련된 감염 메커니즘, 주된 분포 지역이나 특성 등이 매우 상이하므로, 한정된 지면에 각 질병별로 이를 논의하기가 어렵기 때문이다.

3. 지역별 연구 성과 고찰

1) 북미 지역의 연구 동향

북미 지역의 벡터매개 질병 연구 경향은 최근 많은 변화를 겪고 있다. 아프리카, 아시아 등 일부 지역에서 여전히 주요한 벡터매개 질병인 말라리아의 경우, 벡터매개체를 통제하는 프로그램, 백신의 개발, 치료방법의 개선, 환경요인들의 통제 등을 포함한 공공보건의 발전에 힘입어 거의 찾아보기 어렵게 되었다(CDC, 1999). 하지만, 최근 글로벌 환경의 변화로 인한 지구 생태환경 변화는 북미 지역 벡터매개 질병 역학에도 새로운 변화를 불러오고 있다. 기후 환경의 변화로 말미암은 자연 생태계의 변화와 인구가동은 병원체 분포의 확산과 이로 인한 여러 벡터 종들에 노출될 수 있는 새로운 환경을 조성하게 되었다. 미 전역에 급속히 확산하고 있는 WNV, 최근 플로리다주에서 감염사례가 보고된 뎅기열 등의 경우가 새로운 지역에서 다시 발생하고 있는(re-emerging) 벡터매개 질병들의 대표적인 사례이다. 또한 세계화로 인한 국제무역과 여행의 증가에 따른 질병의 지리적 확산·전파가 용이해지고, 결과적으로 인체감염의 위험성, 취약성(vulnerability)이 예전보다 더욱 증가하였다(Kilpatrick, 2011; Kramer *et al.*, 2008). 이러한 변화 속에 다시 발생하고 있는 벡터매개 질병들의 병인과 메카니즘에 대한 과학적이고 체계적인 연구, 특히 공간역학 방법론에 기반을 둔 연구가 활발하게 진행되고 있다. 따라서 본 고에서는, 미국에서 가장 많이 발생하는 벡터매개 질병인 라임병과 뇌염류 질병 발생의 대표적인 바이러스로, 모기를 전달자로 하여 새와 사람들에게 전파되는 WNV, 이 두 가지 벡터매개 질병을 중심으로 북미지역 최근 연구사례를 고찰한다.

벡터매개 질병은 벡터를 통한 병원체의 전파와 감염을 일으킨다는 점에서 사람과 사람 간의 감염이 가능한 일반적인 감염병과는 구별된다. 앞서 간략히 살펴본 바와 같이 벡터매개 질병의 발생은 병원체(pathogen), 벡터·보유 숙주(reservoir hosts), 그리고 사람 간의 상호작용을 통해 발생하며, 이때 병원체 전

이(transmission)의 확률은 벡터, 숙주와 병원체의 근원지 간 거리에 따라 결정된다는 점에서 공간 프로세스로 설명되고 있다(Reisen, 2010). 다시 말해, 숙주, 벡터, 그리고 병원체의 공간분포에 영향을 주는 인자들 간 공간관계가 전이의 근간이 되며, 이들 질병의 분포를 결정하는 요인이 된다는 것이다. 예를 들면 북미지역 가장 대표적인 벡터매개 질병인 라임병의 발생을 설명하는 데 있어 주거근린지역 요소(peridomestic factors)의 역할에 대한 가설이 많은 실증연구의 바탕을 이루고 있다(Dister *et al.*, 1997; Glass *et al.*, 1995; Kitron and Kazmierczak, 1997; Orloski *et al.*, 1998; Killilea *et al.*, 2008). 따라서 생태학, 역학 연구자들은 벡터매개 질병의 발생과 위험도의 공간적 차이를 설명하는데 점차 초점을 두고 연구하고 있다(Ostfeld *et al.*, 2005). 라임병의 공간 분포 상의 특성 중 하나는 심한 공간적 불균형을 보인다는 점이다. 지리적으로 특정 지역, 즉 미북동부, 중서부 북부지역, 중북부 캘리포니아, 그리고 캐나다 남동부 지역에 집중되어 발생하고 있으며, 이러한 위험지역 내에서도 공간적으로 상당한 차이를 보여주고 있다(Glavanakov *et al.*, 2001; Chen *et al.*, 2005; Waller *et al.*, 2007; Glass *et al.*, 1995). 한편, WNV의 경우, 1999년 뉴욕주에서의 발생 이후 아주 빠른 속도로 미국 전역으로 전파되었다는 점을 특징으로 하고 있다. 가장 많은 인체감염 사례가 집계된 2002~2003년 이후에도 계속적으로 다발적이면서도 지역적인 감염 사례가 보고되고 있는데, 이는 아프리카나 동아시아 지역의 지속적이며 토착화된 감염패턴(endemicity)이나 유럽의 간헐적인 사례 보고와는 아주 다른 양상을 보여주는 것이다(Hayes *et al.*, 2005; Kramer *et al.*, 2008).

이렇듯 벡터매개 질병은 복합적인 병인을 가지고 있는 것으로 보이며, 최근 북미지역의 연구는 이러한 경향을 반영하듯 다양하고 폭넓은 관점에서—생물, 비생물적 요인들(biotic and abiotic factors) 모두를 포함한 환경생태 요인—다양한 연구 방법론의 개발과 응용에 중점을 두고 성장하고 있다. 환경생태 요인들과 질병 관계의 분석에는 크게 두 가지 접근방법과 자료가 주로 이용된다. 곤충학(entomological)과 동물감

시(animal surveillance) 자료의 수집을 통한 벡터매개체나 보유 숙주 관련 생물·비생물적 요인들, 그리고 이러한 요인에 영향을 미치는 환경요인들(기후나 식생, 토지이용·피복)의 연관성 분석을 통해 병원체 전이의 과정에 중점을 두는 연구들이다. 한편, 역학 자료를 통한 인체감염의 연구와 취약 인구집단의 파악과 집단 간 차이를 분석하는 연구들은 또 다른 하나의 주요 접근방법이다. 이와 더불어 새로운 연구 방법론의 개발 역시 활발하게 진행되고 있다. 벡터질병 발생의 원인을 밝히려는 더욱 분석적인 역학 방법론들의 활용, 특히 최근에는 지리정보시스템, 원격탐사, 그리고 공간 프로세스를 고려한 공간통계 기반의 공간역학 방법론들이 기존 생태역학과의 접목을 통해 많은 발전을 보여주고 있다(Beck *et al.*, 2000; Ostfeld *et al.*, 2005; Kitron, 1998; Reisen, 2010).

라임병과 WNV 두 가지 질병 연구 모두에서, 벡터매개체들의 서식 환경과 생존 조건, 그리고 감염된 벡터매개체가 사람을 감염시키는 능력에 영향을 주는 생물·생태학적 환경 조건에 대한 고려가 매우 중요하다. 그 동안 이와 같은 결정요인을 밝혀내기 위한 많은 연구가 수행되었고, 이를 이용한 위험도 모형화와 향후 예측 등에 대한 연구가 활발하다. WNV의 경우, 벡터매개체인 모기와 중간매개체인 보유 숙주, 그리고 모기 서식 환경의 지역적 차이 등의 요인들이 공간분포를 설명하는 주요 결정요인들에 포함되며, 감염된 조류나 모기의 곤충학적 환경조건에 대한 연구들이 인체감염의 위험도를 예측하는데 중요한 변수가 될 수 있다(Eidson *et al.*, 2001; Patnaik *et al.*, 2007; Cooke *et al.*, 2006). WNV의 확산과 관련되어 기후, 식생, 토지이용 등 벡터와 숙주의 분포에 많은 영향을 미치는 요인들에 대한 연구 역시 활발히 진행되고 있다(Soverow *et al.*, 2009; Kilpatrick *et al.*, 2008; Landesman *et al.*, 2007; Reisen *et al.*, 2006; DeGroot *et al.*, 2008). 연구지역 내 토지이용의 특성을 파악함으로써 벡터매개체인 모기에 의해 감염되는 과정이나 모기들의 서식지(예, 습지)를 파악하는데 초점을 둔 많은 연구가 수행되었다(Reisen *et al.*, 1997; Gibbs *et al.*, 2006; Diuk-Wasser *et al.*, 2006; Tachiiri *et al.*, 2006).

벡터매개 질병의 전이 사이클과 인체 감염, 발병에 영향을 미치는 주요한 요인 중 하나로는 기후관련 인자들이다. 기온이나 강수량의 변화는 병원체 숙주와 벡터 간 상호작용에 직접적인 영향을 주게 되며, 간접적으로는 습도, 토양수분(soil moisture), 수온(water temperature), 염도(salinity), 산도(acidity) 등을 통한 생태계 변화와 종 구성(species composition)에 따른 영향을 받게 된다(Estrada-Peña, 2002; Brownstein *et al.*, 2005; Soverow *et al.*, 2009; Reisen *et al.*, 2006). 기후변화가 WNV의 발생과 분포에 미치는 영향은 많은 연구를 통해 보고되고 있으며, 특히 지구 온난화와 관련된 벡터 서식지의 변화가 주목을 받고 있다(Gage *et al.*, 2008; Kilpatrick *et al.*, 2011; Soverow *et al.*, 2009). 북미지역에서 온도의 상승이 WNV 분포에 영향을 준다는 일관성 있는 연구결과들이 최근 나오고 있다(Kilpatrick *et al.*, 2011; Soverow *et al.*, 2009; Reisen *et al.*, 2006). Reisen *et al.*(2006)은 초기 동부에서 서부지역으로 WNV의 공간확산을 설명하는 주요 요인 중 하나로 기온상승의 역할을 제기하였으며, 모기 감염력(mosquito infectivity) 공간 확산과 기온상승과의 상관성을 보고하고 있다. 한편, WNV에 미치는 강수의 역할에 대한 연구들의 결과는 상호 뚜렷한 일치도를 보이지 않고 있다. 초기 WNV 발병의 확산과 가뭄 요인의 상관관계를 보여주는 연구도 있으나, 후속 연구들은 상관관계가 전혀 없음을 보여주었다(Degroote *et al.*, 2008; Landesman *et al.*, 2007).

WNV 인체감염은 주로 계절적으로는 여름, 공간적으로는 WNV 숙주와 벡터가 많은 개발지역(도시지역이나 농촌 주거지역)에서 많이 발생하는 특징을 보여준다(Kramer *et al.*, 2008; Bowden *et al.*, 2011). 예를 들면, 도시환경의 특성 중 서식지 단편화 또는 집중화(habitat fragmentation or clumping), 개방된 초지, 배수불량지역, 수변지역 등이 위험요소로 지적되고 있다(Ruiz *et al.*, 2004). 또한, 역학자료를 이용한 인체감염 연구들은 인구밀도, 주택상태, 그리고 사회경제적 요인을 포함한 인구집단 간 차이 등 영향을 주는 다른 여러 가지 요인들이 보고되고 있다(Ruiz *et al.*, 2004; Ruiz *et al.*, 2007). 마지막으로, 향후 실

중연구에 기반을 둔 결과가 요구되고 있는 분야로서, 도시화에 따른 인구집단의 사회경제적 요인과 WNV 질병 간 위험 상관관계에 대한 연구에의 관심 또한 증대되고 있다. Ruiz *et al.*(2007) 등의 연구는 Chicago와 Detroit에서 노인인구가 많고 낙후된 주택이 많은 지역에서 WNV 인체감염 위험이 증가함을 보고하였다.

한편, 라임병의 공간분포 연구에서 가장 일관성 있게 보고되고 있는 결정요인 중 하나로는 삼림과의 연관성이다. 많은 공간역학 연구들이 라임병 발생은 산림에 가까이 위치한 지역 인구집단들에 높은 빈도로 발생함을 보고하고 있다(Glass *et al.*, 1995; Kitron and Kazmierczak, 1997; Orloski *et al.*, 1998; Eisen *et al.*, 2006; Jackson *et al.*, 2006). Glass *et al.*(1995)는 메릴랜드주 라임병의 발생이 비 삼림지역에 위치한 거주지역보다 삼림지역에 위치한 거주지역 인구집단에서 많이 발생함을 보고하였고, 특히 도시화 정도가 높은 지역에서는 그 발생이 아주 낮게 나타남을 보고하였다. Orloski *et al.*(1998)의 뉴저지주 환자-대조군 연구(case-control study) 역시 농촌 경관과 높은 발생률의 상관관계를 뒷받침한다. 삼림피복(forest cover)을 이용한 연구들에서도 비슷한 결과가 보고되고 있다. Jackson *et al.*(2006)의 연구는 삼림피복 비율이 라임병 발생의 중요한 예측 요인임을 보고하였고, Kitron and Kazmierczak(1997)은 삼림피복의 간접적 지표로 인공위성 자료 기반의 정규 식생 지수(Normalized Difference Vegetation Index, 또는 NDVI)를 사용하여 평균적으로 높은 NDVI값을 가진 지역에서 라임병 발생률이 높게 나타남을 보고하였다. 이러한 연구들의 결과는 진드기와 보유 숙주가 어떤 피복식생 타입에서보다 삼림지역에서 높게 나타나기 때문이며, 결과적으로 이러한 지역에서 라임병 발생 위험도가 높다는 것을 제시하고 있다. 공간역학 연구들은 그 동안 아주 다양한 공간스케일에서 이러한 메커니즘을 설명하고자 노력해왔다(Eisen *et al.*, 2006). 여러 생물, 비생물적 요인들이 진드기 밀집도와 라임병 발병의 공간적 차이를 설명하기 위해 사용되었으나, 왜 특정 종류의 삼림에 진드기가 많이 살며 라임병 감염 사례에 더 연관되어 있는지 아직 확실하게 규명하

지 못하고 있다(Killilea *et al.*, 2008).

토지이용의 패턴이 감염성 질병의 확산에 영향을 준다는 경관생태학적인 접근법도 보건지리학, 공간역학 분야에서 중요하게 다루어지고 있다(Brownstein *et al.*, 2005). 역사적으로 라임병은 북동부 지역의 흰꼬리 사슴의 개체 수가 늘어나면서 진행된 지난 세기 동안의 재조림(reforestation) 과정과 연관되어 있다. 그 결과로 미북동부 지역에서 지난 20여 년 동안 급증한 라임병은 교외화를 통한 경관구조 변화와 상관성을 가지고 있다(Maupin *et al.*, 1991; Frank *et al.*, 1998). 전체적으로 볼 때, 삼림 총면적은 크게 변화하지 않았지만, 도시화가 진행되면서 삼림의 파편화가 크게 증가하였고, 거주지역이 이들 삼림 피복지와 혼재되면서 라임병 감염 진드기에 대한 인간의 노출이 라임병 유행에 영향을 미쳤다(Maupin *et al.*, 1991; Frank *et al.*, 1998; Ostfeld and Keesing, 2000). 라임병 역시 진드기의 생성과 생존이 기온과 습도에 매우 민감하기 때문에(예를 들면, 진드기는 건기에 생존율이 낮아지는 경향이 있다) 기후관련 요인은 다른 제반 환경생태 요인들에 영향을 주게 된다. 이러한 연구들은 진드기의 분포를 파악하는데 원격탐사 방법을 이용하여 지표 수분량을 파악(moisture availability)하고, 습도와 초목(green vegetation)의 밀도가 높은 교외 주거지역은 상대적으로 많은 진드기가 서식할 수 있는 환경을 조성한다는 것을 밝혀내고, 이들 지역이 라임병에의 노출과 위험도가 높다는 것을 보고하였다(Dister *et al.*, 1997; Brownstein *et al.*, 2003; Brownstein *et al.*, 2005). 온도상승, 강수량의 변화에 따라 진드기 서식에 적합한 환경도 미 북동부 위쪽으로 확대될 것으로 예측되고 있으며, 이와 함께 라임병 발병의 공간분포 역시 유사한 변화를 겪을 것으로 예측된다(Estrada-Peña, 2002).

지금까지 살펴 본 벡터매개 질병 연구 성과를 바탕으로, 이들의 주요 접근방법과 자료의 활용이 공간역학 연구에 대해 갖는 장단점을 고찰하는 것도 중요하다. 벡터나 숙주자료를 기반으로 제반 환경생태 요인을 활용한 많은 연구는 상대적으로 높은 공간적 해상도와 정확성을 가진 자료를 수집할 수 있다는 장점이 있지만, 이러한 자료 수집에는 큰 비용이 들고, 다양

한 경로의 출처를 통해 습득되기 때문에, 경우에 따라서는 이 부분이 연구의 제약 요인으로 작용할 수도 있다. 가장 큰 단점으로는, 이러한 자료에 기반한 연구는 벡터와 인체감염의 직접적인 관계를 보여주는 데에 한계점을 가지고 있으며, 인간행태 관련 인자들이 간과되는 점이다. 한편, 역학 자료를 이용한 연구들 역시 여러 가지 장단점을 가지게 된다. 미국에서는 WNV를 포함 다른 arboviral 벡터매개 질병들의 더욱 체계적인 자료 수집과 감시를 위해 GIS에 기반을 둔 감시시스템인 ArboNET(surveillance system for arboviral diseases)의 체계를 갖추게 되었으며(CDC, 1999), 이는 인체, 가축 감염에 대한 역학 자료습득의 용이성을 제공하게 된다. 하지만 이러한 역학 자료의 수집에서 보고 체계에 따른 문제, 그리고 정확한 질병의 진단규정과 관련된 제반 문제점들 또한 간과할 수 없다(Eisen and Eisen, 2007). 역학자료를 이용한 연구의 가장 큰 장점은, 인체감염과 감염을 일으키는 인자들에 노출되는 과정에 대해 보다 직접적인 관련성을 파악할 수 있다는 점에 있다. 또한, 역학연구의 근본문제 중 하나인 인구집단 간 질병과 노출의 차이를 분석적인 방법론을 가지고 고찰할 수 있다는 점 역시 장점으로 들 수 있다. 따라서, 인체감염의 결정요인들과 생물 또는 비생물적 요인들을 포함한 광범위한 환경생태 요인들을 고려한 학제적 접근법이 더욱 향상된 결과를 가져올 수 있다(Eisen *et al.*, 2006; Eisen and Eisen, 2008). 예를 들면, 최근 일부 WNV와 라임병 연구들은 인체감염, 경관 요인, 인구집단의 차이, 기후환경 요인, 그리고 벡터관련 곤충학적 요인들을 접목하여 수행되고 있다(DeGroot *et al.*, 2008; Winters *et al.*, 2008; Eisen *et al.*, 2006).

2) 아프리카와 아시아 지역의 연구 동향

벡터매개 질병의 대표적 종류인 말라리아는 아프리카 지역에서 가장 높은 감염 사례가 보고되고 있고, 아시아 지역이 전체 발생 사례의 26%를 차지하며 그 뒤를 잇고 있다(Guerra *et al.*, 2008). 말라리아 감염률과 사망률이 아프리카에서 가장 높은 이유 중 하나는 감염을 효과적이고 쉽게 일으키는 대표 말라리아

아 모기종이 아프리카 대륙에 널리 서식하고 있기 때문이다(Coluzzi, 1999). 말라리아 감염사례 증가와 관련하여 최근 논의되고 있는 것은 과거에는 감염이 보고되지 않았던 아프리카 고지대로의 질병 확산이 기온 상승과 같은 기후변화와 정확한 상관성을 갖고 있는지에 대한 의문이다(Hay *et al.*, 2002; Pascual *et al.*, 2006; Reiter, 2008; Alonso *et al.*, 2011; Stern *et al.*, 2011). 1990년대 후반부터 등장한 동아프리카 고산지역의 말라리아 유행을 시발점으로 하여 지구온난화가 질병 확산에 미치는 연구가 크게 늘어나고 있다. 최근 연구에 따르면, 입력 자료의 일부로 사용되는 기상자료의 기간, 기상 자료를 관측하는 측후소의 고도, 기상자료의 내삽에 쓰이는 방법에 따라 장기 기후변화와 말라리아 발병 추세 간의 연관관계가 상이하게 나타나는 면이 있기 때문에, 동일한 자료에 대해 서로 다른 분석 방법을 적용해 보는 것이 중요하다(Stern *et al.*, 2011).

Chaves and Koenraadt(2010)는 기후인자의 영향을 인정하는 쪽과 부정하는 쪽 모두의 연구 결과를 면밀히 검토한 바 있다. 이를 통해 저자들은 말라리아 확산에 미치는 기후변화의 영향이 존재한다는 증거를 찾았으나, 말라리아 발생 패턴에 대한 기후의 영향을 과대평가할 경우 향후 연구 방향 설정이 잘못될 수 있다는 다소 중도적인 결론을 제시하였다. 이어진 Chaves *et al.*(2012)의 후속 연구에서는 보다 세부적인 연구 결과가 도출되었다. 즉, 계절적 기후 특성이 유사한 케냐 동부(Lake Victoria basin) 5개 병원 자료를 통해 말라리아 발병 패턴을 분석한 결과, 저지대에 비해 고지대(>1,600m)에서 말라리아 확산의 변동 폭이 더 크게 나타나는 경향을 파악하였다. 반면에, 고도 1,600m 이하의 지역에서는 1980년대 이래로 말라리아 발병 빈도와 시간적인 변동폭 모두 감소추세를 보였다. 이러한 말라리아 분포의 지리적 이질성 이면에는 결국 말라리아 감염 확산에 관여하는 인자가 복잡하게 존재함을 암시한다고 볼 수 있다(Chaves *et al.*, 2012). 지금까지의 말라리아 연구가 주로 질병 감염의 시간적 추이를 대변하는 주된 요인을 밝히는 데에 초점이 맞추어진 반면, 최근의 이들 연구는 시공간적으로 상이한 다수의 발병 사례 자료를 토대로 질병

확산 추세의 공간적인 동질성 또는 이질성(homogeneity or heterogeneity)을 조명했다는 데에 큰 차별성이 있다.

말라리아 발생에 미치는 기후변화의 영향은 점차 그 윤곽이 드러나는 추세에 있다. 케냐의 고산지대를 대상으로 한 연구결과를 보면, 말라리아의 증가세는 말라리아 발생 약 3~4개월 이전의 최고기온과 강수량 증가와 연관성을 보였다(Githeko and Ndegwa, 2001). 마다가스카르나 에티오피아 지역의 말라리아 유행 현상도 감염철이 시작되는 시점의 최저기온 또는 유행철 수개월 전의 최저기온 상승과 유의미한 상관관계가 있다는 사실이 보고되었다(Abeku *et al.*, 2003; Bouma, 2003). 장기 기후변화 양상과 말라리아 감염율 변화와의 정량적인 상관관계에 대해서는 아직 논쟁 중에 있지만, 엘니노 남방진동(EI Nino Southern Oscillation, ENSO)의 영향에 관한 최근 연구들은 말라리아 발병 및 사망률과의 관련성을 증명하는 결과를 내놓고 있다(Wort *et al.*, 2004; Mabaso *et al.*, 2007). 아프리카 남부 지역 5개국을 대상으로 한 Mabaso *et al.*(2007)의 연구에 의하면, 남방진동지수(Southern Oscillation Index, SOI)로 표현된 ENSO의 영향은, 건조했던 EI Nino 시기에서는 말라리아의 발병률과 음의 상관관계를 보였고, 상대적으로 습윤했던 La Niña 시기에는 양의 상관관계를 보여주었다. ENSO와 연관된 여러 연구결과들이 대체로 질병의 발병률과 양의 상관관계를 보이는 것은 벡터 모기들의 번식이 기상조건에 민감하게 반응한다는 점을 반영하는 것이라 볼 수 있다. Thomson *et al.*(2005)은 강수량 자료와 함께 ENSO의 영향을 나타내는 지표로 해수면 온도를 사용하여 말라리아 발병과의 상관성을 보즈와나를 대상으로 연구하였다. 이 연구에서 연구자들은 전국규모에서 비기후적 요인들을 제거하고 기후적 영향을 조사하였다. 연구 결과에 따르면, 12월에서 이듬해 2월까지의 연강수량 변화가 1월~5월 중에 주로 발생하는 전형적인 보즈와나 말라리아 발생의 경년변화량 중 약 2/3를 설명하는 것으로 나타났다. 또, 강수량과 말라리아 발생의 이례적 수치가 동태평양의 해수온도와 밀접하게 연관되어 있음을 확인하고, 기후예측 기법을 통해 말

라리아 유행 시기를 사전에 예측하거나 조기 경보할 수 있는 가능성을 제시하기도 하였다(Thomson *et al.*, 2006).

기후변화의 영향을 보여준 여러 연구결과들이 제시되고 있지만, 말라리아 발생과 기후변화 추세 간의 관련성에 대해 부정적인 견해 역시 존재하고 있다(Hay *et al.*, 2002; Shanks *et al.*, 2002). 이들 반대 견해에 따르면, 말라리아 증가 추세가 기후변화에 의한 결과라기보다는 병원체에 대한 벡터의 내성과 벡터관리 효과가 감소된 결과로 보는 것이 타당하다는 것이다. 남부 아프리카를 대상으로 한 Craig *et al.*(2004)의 연구에서도 말라리아에 대한 기후의 전반적인 영향은 파악되지 않았다. *Aedes aegypti* 모기에 의해 전염되는 뎅기열이나 황열은 때때로 건기 동안에 증가를 보이는 경우가 있다. 이는 건조 기간 동안 거주 지역 주변에 위치한 물저장 시설의 저수량 증가로 인한 결과로 볼 수 있기 때문에, 관련 연구에서는 기온과 강수량의 증가만으로 설명될 수 없는 질병 발생 메커니즘의 복잡성을 감안해야 한다(Pontes *et al.*, 2000). 기후변화와 관련하여, 악천후로 인한 재해 현상과 질병 발생 간의 연관성을 찾는 연구도 있다. Epstein(2005)은, 2000년 대규모 싸이클론의 영향으로 모잠비크가 침수된 이후 말라리아 발병이 5배 폭증하였다고 보고하였다. 하지만, 재해 사례에 따라 질병 발생과 악천후와의 연관성이 전혀 나타나지 않는 경우도 흔하기 때문에, 이러한 연구 결과를 일반적으로 적용하기는 어렵다(Lehman *et al.*, 2007).

계절적 기후 특성이 명확하게 나타나는 동남아시아 지역의 경우에도 벡터의 서식처 및 개체수의 확대가 기후변화와 긴밀히 연관되어 있다. 1990년대 후반에 수행된 여러 연구들은 지구온난화 시나리오에 따른 뎅기열 감염확산에 주목한 바 있다(Jetten and Focks, 1997; Martens *et al.*, 1997; Patz *et al.*, 1998). 이들 연구들은 주로 온도와 관련된 뎅기 바이러스 서식 환경과 벡터모기의 생존 조건, 그리고 감염된 모기가 사람을 감염시키는 능력에 영향을 주는 곤충학적 환경조건에 대한 것이었다. Hopp and Foley(2003)는 뎅기열의 주요 벡터인 *Aedes aegypti* 모기의 개체수 동태(population dynamics)에 관한 모델링에 주요점을

두었다는 점에서 기존 연구와 차이점을 보였다. 이들은 뎅기열의 발병 빈도자료를 모기 개체수, 기후자료와 함께 전지구적 수준에서 분석하기 위해 모기 개체수 변화를 정량적으로 모델링하였다. 기후자료를 기반으로 한 모델링을 통해 추산된 모기 분포 밀도는 중남미와 동남아시아에서 장기간 수집된 뎅기열 발생수와 강한 상관관계를 보였다. 반면에, 호주, 브라질, 중국, 미국과 같이 면적이 큰 국가들에 대해서는 상관도가 유의하지 않은 결과를 보였다. 이는, 뎅기열이 주로 국지적인 규모로 발생하기 때문에 국가 전체에 대한 평균적으로 모델링되는 벡터모기 개체수와 직접비교하기 힘든 문제가 있었기 때문이다.

토지피복의 변화에 따른 서식지 교란은 전염성 질병의 위험도를 변화시키는 가장 큰 환경요인이라고 할 수 있다. 토지이용변화의 주된 동인은 농경지 확대, 수로확장, 도시화, 삼림벌채 등인데, 이러한 변화는 다시 삼림의 파편화, 병원체 유입, 공해, 빈곤, 이주와 같은 요인들에 연쇄적 영향을 주어 전염성 질병 출현을 더욱 가속화한다(Patz *et al.*, 2008). 전세계적으로 열대지역의 삼림벌채는 빠른 속도로 진행되고 있는데, 2000년에서 2005년에 걸친 우림지역의 삼림 파괴 비율만도 2.3% 이상에 이르고 있다(Hansen *et al.*, 2008). 삼림피복의 빠른 축소로 인해 야생 환경과 사람 간의 접촉 가능성이 높아지면서 사람과 가축이 새로운 병원체에 노출될 가능성도 증가하고 있다(Wolfe *et al.*, 2004).

토지이용 변화는 국지적인 기후변화에 직접적인 영향을 미쳐 기온, 강수량, 증발산량, 지표유수량의 변화를 가져오게 되며, 이를 통해 벡터 모기의 생존과 서식환경을 결정한다(Minakawa *et al.*, 2002; Foley *et al.*, 2005; Patz *et al.*, 2004). 케냐 서부를 대상으로 한 Afrane *et al.*(2005)의 연구에 따르면, 삼림 지역에 비해 온도가 높은 비삼림지역에서 벡터모기의 생식 주기가 건기에는 2.6일, 우기에는 2.9일 각각 단축된다는 사실을 보고하였다. 토지이용변화가 벡터모기 서식에 미치는 영향을 조사한 Munga *et al.*(2006)의 연구도, 아프리카 지역의 삼림벌채와 습지의 경지화는 전체적으로 온도를 높이는 결과를 초래하고, 이는 벡터 모기의 생존과 유충발달에 유리한 조건을 만들

어 말라리아 감염 위험성이 높아짐을 보고하였다. 삼림의 많은 면적이 과수원으로 전환된 태국의 연구 사례에서는, 삼림의 파편화 결과 개별 삼림의 크기가 작아지고 전반적으로 경관의 다양성이 증가하면서 벡터 모기의 밀도가 감소하는 결과를 보여주었다(Overgaard *et al.*, 2003). 특히, 건기에는 과수원에 살충제 살포가 이루어져 우기에 비해 벡터모기의 서식 밀도가 뚜렷하게 감소하였다. 이러한 요인 외에도, 농촌이나 삼림 환경 주변의 거주지에는 벡터모기에 대처하는 보건 시설이 빈약하고, 질병에 대한 치료 및 예방 자원이 부족하여 말라리아와 같은 질병에 상대적으로 취약하기 때문에 감염 확산에 관련된 사회경제적 관점도 고려되어야 한다(Butraporn *et al.*, 1986). 특별히, 도시화가 말라리아 감염과 사망률에 미치는 영향은 최근 진행되는 말라리아 관련 연구의 주요 주제이다(Hay *et al.*, 2005). 예방적 의료행위, 위생 상태의 호전, 살충제 사용, 모기 서식처 감소 등으로 도시 확장에 따라 말라리아 감염 및 사망률은 감소하는 추세를 보인다. 국가마다 도시와 농촌 지역을 구분하는 기준과 도시에 대한 정의가 다르기 때문에 지역적 차원에서 도시화로 인한 말라리아 발병 예측을 하는데 어려움이 따른다. 아프리카에서 2003년 기준, 39%였던 도시거주비율이 2030년에는 54%로 증가할 것으로 예상됨에 따라 도시화의 영향을 보건역학 차원에서 접근할 필요성이 제기되고 있다.

3) 우리나라의 연구 동향

계절변화가 나타나는 우리나라의 기후환경 하에서는 특정 계절에 따라 질병의 발생 건수가 큰 차이를 보이는 특성이 있다. 모기가 매개하는 말라리아는 7, 8월에 발병률이 가장 높게 나타나고, 설치류와 진드기가 매개체인 쯔쯔가무시증은 10, 11월에 집중적으로 발생하고 있다. 1990년대 후반부터 급증한 쯔쯔가무시증의 발병원인은 아직 명확히 밝혀지지 않고 있으나, 이는 기후변화에 따른 곤충의 산란, 서식, 발육 조건이 벡터매개 전염병 발생 가능성을 증가시킨 결과, 또는 기후와 토지이용변화와 같은 환경생태요인이 복합적으로 작용한 결과로 추정되고 있다

(Kong *et al.*, 2007; Jung, 2010). 쯔쯔가무시증(Scrub typhus 또는 Tsutsugamushi)은 들쥐나 야생동물에 기생하는 *Orientia tsutsugamushi*라는 리켓치아균에 감염된 털진드기가 사람을 물어 발생한다. 국내에 서식하고 있는 털진드기 중 *Orientia tsutsugamushi*균의 주요 병원체가 되는 종은 *Leptotrombidium pallidum*과 *Leptotrombidium scutellare*로 알려져 있다(Korea National Institute of Health, 1994). 쯔쯔가무시증은 1923년 일본에서 환자가 처음 나타난 뒤 제2차 세계대전 때 연합군이 점령하던 동남아시아에서 4만여 명의 환자가 발생하여, 관목숲에서 생기는 티푸스(scrub typhus)로 알려졌다. 우리나라에서는 1927년 남해안 일대에서 털진드기가 채취되고 발병자가 발생했다. 한국전쟁 때인 1951년에 주한 유엔군 6명이 환자로 공식 보고되었으며, 1986년에 환자가 재발했다(Munro-Faure *et al.*, 1951).

쯔쯔가무시증은 세계적으로 명확한 지역적 특성을 보이는 것으로 알려져 있으며, 주로 북부 일본과 극동의 러시아, 남으로는 북부 오스트레일리아, 서쪽으로는 파키스탄과 아프가니스탄을 연결하는 삼각형 지역 내에 다발적으로 발생한다. 우리나라는 그 삼각형 지역 안에 위치하여 충청, 전라, 경상도 지역의 농촌을 중심으로 다발하고, 최근에는 도시에서도 발병이 증가하고 있다(Lee and Park, 2009). 쯔쯔가무시증은 유행성 출혈열로 알려진 신증후군출혈열(新症候群出血熱, hemorrhagic fever with renal syndrome), 렙토스피라병(leptospirosis)과 함께 가을철 3대 급성열성질환(急性熱性疾患, acute febrile disease)의 하나로 결핵, 말라리아 등과 함께 제3군 법정전염병에 속한다(Kong *et al.*, 2007). 우리나라에서는 1999년부터 지속적으로 이들 제3군 전염병이 증가추세에 있지만, 이를 질병자체의 발생이 늘어난 것으로 보기는 무리가 있다. 예를 들어, 2001년부터 전자데이터교환(electronic data interchange, EDI)을 통해 전염병의 신고가 간편해졌으며, 전염병 예방법의 개정과 질병감시체계 및 정보화 등으로 질병에 대한 정보수집이 크게 증가했다. 2001년 이후 국내 쯔쯔가무시증의 발병이 크게 증가한 것은 이러한 질병정보관리체계의 확립과 무관하지 않다.

쯔쯔가무시증의 연구는 의학·보건계열에서 대부분 이루어지고 있으며, 지리학분야에서는 Kong *et al.*(2007)의 연구가 거의 유일하다. 쯔쯔가무시증의 연구는 2000년 초반까지 발생지역의 임상학적, 역학적 연구가 주를 이루며, 이러한 연구는 최근까지도 계속되고 있다(Korean National Institute of Health, 1994; Lee, 1986; Jin *et al.*, 1988; Heo, 1994; Han *et al.*, 1995; Jang *et al.*, 2003; Baek, 2004; Wi *et al.*, 2008). 이러한 연구를 바탕으로 Kong *et al.*(2007)은 쯔쯔가무시증의 시·공간적 분포를 확인하고 이를 위해 생물소서식지(biotope) 단위의 환경생태요인을 조사하여 들쥐와 털진드기의 발생, 생육, 분포, 생태에 대한 분석을 시도했다. 쯔쯔가무시증의 시·공간적 분포는 최근 의학, 보건학 분야에서도 연구가 진행되고 있으며, GIS를 활용하여 시·공간적 확산을 지도화했다(Park, 2008; Kim, 2011). 쯔쯔가무시증의 시·공간적 분포에 관한 연구는 최근 늘어나고 있는 발병율의 증가가 기후와 상관성이 있음을 밝혔다. 대체적으로 쯔쯔가무시증은 기온과의 상관성이 높게 나타나는 것으로 알려져 있지만, 정확한 상관관계를 보이지 않아 우연에 의한 발생 가능성을 배제할 수 없는 한계를 보인다. 다만, 예외적으로 일교차는 쯔쯔가무시의 발병률과 상관관계가 있음이 나타났다(Kong *et al.*, 2007; Park, 2008; Kim, 2011).

우리나라에서 말라리아는 1980년대에 거의 퇴치된 것으로 보고되었지만 1990년대 후반부터 발병 사례가 빠르게 증가하고 있다. 특히, 1993년 경기도 파주군 휴전선 근방에 근무하던 군인에게서 삼일열 말라리아가 보고된 후 경기도 북부에서 해마다 말라리아 환자보고가 증가하고 있어 말라리아의 토착화에 대한 논란이 일고 있다(Ahn and Min, 1999). 또, 우리나라 말라리아 유행은 북한과 관련되어 있다는 견해가 많아 국경형 말라리아의 특성을 갖는다(Kho *et al.*, 1999). 또, 말라리아가 재출현 했을 당시의 발병시기는 8월이었던 반면, 2000년에는 6월 초에 발생함으로써, 우리나라 말라리아의 시·공간적 발생 및 분포에 변화가 일어나고 있음을 의미하며(Park *et al.*, 2003), 이러한 변화의 원인과 주변 환경과의 관련성을 파악하려는 연구가 의학의적인 분야나 국가주도의 연구

사업을 통해 이루어지고 있다(Jang *et al.*, 2008). 이 밖에도, 기후변화나 기상요소 및 기후요인이 말라리아의 발생과 전파에 미치는 영향에 관한 연구들이 시도되고 있고, 발병 지역의 탐색을 위한 분석도구로서 원격탐사 자료의 활용가능성이 받아들여지고 있으며 발생지역의 공간적 분포 및 지리적 요인의 연관성을 연구하기 위해 GIS를 활용한 예도 있다(Kim, 2011; Shin, 2011; Lee *et al.*, 2002; Park, 1999). 말라리아의 재발생 이후 지속적으로 이루어진 역학조사 자료를 바탕으로 주변 환경요인과의 관련성 등을 분석한 연구성과는 조기경보체계 개발로 이어지고 있다(Korea National Institute of Health, 2002). 조기경보체계는 공간통계나 공간분석방법을 주로 사용하고 있으며, 발생지역의 시각적 구현, 위험지역 선정, 위험요인 분석 및 위험지역 예측을 위한 모델링 등이 주로 사용된다.

4) 보건지리학 연구의 전망과 가능성

세계 생태환경의 변화로 새롭게 나타나는 벡터매개 질병의 발생과 공간적 확산은 우리에게 많은 시사점을 준다. 복합적인 벡터매개 질병에 대응하기 위해서는 여러 분야 관련 전문가의 공동협력이 필요하며, 이를 위해 상호보완적인 관점을 제공하는 보건학, 공간역학, 지리학, 그리고 환경과학의 협력이 가장 선결문제인 까닭에, 공간역학 및 보건지리학의 역할이 더욱 부각되고 있다. 공간적 변이를 설명하기 위해 공간분석을 통한 벡터매개의 노출이나 인체감염의 위험이 높은 지역의 식별, 그리고 환경생태의 변화와의 상관관계를 살피는 공간역학/보건지리학 연구들은 벡터매개 질병의 복합적인 병인을 밝혀내는 데에 중요한 방법론과 관점을 제공하고 있다(Rogers, 2002; Beck, 2000; Eisen and Eisen, 2007; Ostfeld, 2005). 특히, 공간분석은 기후변화가 벡터매개 질병의 분포와 확산에 주는 영향을 보여주는 예측모델을 수립하고 검증하는데 중요한 방법론을 제공한다.

향후 보건지리학이 기여할 수 있는 주요 연구영역 중 하나로는, 보건 연구에서 주요 수단으로 사용되고 있는 보건 감시체계(public health surveillance system)

에 지리정보시스템을 기반으로 한 모니터링 시스템을 도입하는 것을 들 수 있다. 우리나라의 경우에도 최근 해외 여행의 증가로 인한 감염병 유입 사례가 증가 추세에 있으며, 이 중 주요 국외유입 감염병으로는 세균성이질, 뎅기열, 말라리아, 파라티푸스, 장티푸스 등이 보고되고 있다(Korea Centers for Disease Control and Prevention, 2012). 따라서, 이에 대한 자료의 수집과 활용을 포함한 보건 대응체계를 구축하기 위해 국내에서도 질병관리본부를 중심으로 한 감시체계인 국가 감염병 감시 시스템(National Notifiable Disease Surveillance System, NNDSS)을 운영하고 있다. 이를 통해, 국내의 질병, 역학 자료가 수집/구축되고 있으며, 이와 함께 공간자료의 이용가능성 또한 한층 높아지고 있다. 앞서 간략하게 언급하였듯이, 지리정보체계에 기반한 공간분석은 이러한 목적에 부합하기 때문에, 지리정보시스템에 기반한 벡터매개 질병 시공간 감시체계 프로그램의 구축과 확장에 관련된 여러 이슈들은 향후 전문가 그룹의 논의가 필요할 것으로 보인다. 더 나아가, 공간역학 방법론의 발전과 함께 시공간 통계학적 모니터링 감시체계 방법론의 개발, 특히, 실시간 모니터링 방법론, 조기 발생 감시 시스템의 구축, 그리고 관련 요인들의 향후 공간변이를 예측하는 연구 등은 벡터매개 질병의 역학을 이해하는데 필수적인 주요 연구 과제들이 될 것이다.

이러한 공간역학이 제공하는 여러 장점들, 자료의 시각화(visualization), 벡터매개 질병 클러스터의 파악, 주요 위험인자들의 식별, 그리고 예측모델 개발 등에 효과적인 질병 위험지도(risk map)의 개발과 사용은 필수적이다. 질병 위험지도는 보건지리학과 공간역학의 방법론에 기초하여 작성되어야 하며, 공간과 시간 자료에 기반한 벡터매개 질병의 분포와 확산, 그리고 전이과정(transmission dynamics)의 모델을 보여줄 수 있는 도구로서의 역할을 담당해야 할 것이다. 이러한 지도는 환경-질병의 관계에 대한 가설을 검증하거나, 질병 감시체계의 구축이나 통제정책의 방향을 제시, 또는 예방정책의 효율성을 평가하는 기본 자료로 사용될 수 있다. 하지만, 지도화 역시 모델링 작업이기에, 본래 연구목적의 범위를 벗어나는 현상

을 설명하거나 문제에 적용하는 것은 효과가 없을 수 있다는 점에 유의해야 한다. 공간역학 방법론에 기반하여 연구의 목적에 맞게 구축된 질병 위험지도는 연구의 근본적 의제를 재설정 또는 재정립(refine)하거나, 질병 감시체계의 필요성 평가, 그리고 통제정책의 방향을 제시하는 데 효과적으로 사용될 것이다.

한편, 벡터매개 질병 공간역학 방법론의 적용에 있어 집합적 자료(aggreated data)의 처리와 분석 과정에는 아직 해결해야 할 문제점이 남아있다. 즉, 행정단위와 같은 집계구별 자료를 이용하여 질병 예측요인들과의 관계를 고찰할 때 발생할 수 있는 문제점들, 즉 집합된 자료를 이용한 지역 수준의 연구가 갖는 생태학적 오류(ecological fallacy), 집산오류(agggregation error) 및 계측 오류(measurement error) 등은 아직 검증해야 할 한계점으로 남아있는 부분이다. 또한, 작은 표본 수를 이용한 분석에서 오는 통계검정력의 저하 등과 같이 소규모 지역분석에 내재되어 있는 방법론적 제약 역시 극복되어야 할 부분이다(Han and Hwang, 2011). 따라서, 생태학적 연구접근 방법과 자료에 기반한 연구들은 개인 수준의 자료를 이용한 역학 연구에 의해 보완되어야 한다. 이 때, GIS를 비롯한 공간정보기술은 공간적으로 명확한 자료의 수집뿐 아니라 공간분석을 하는데 있어서도 많은 이점을 제공한다(Eisen and Eisen, 2008; Reisen, 2010; Ostfeld *et al.*, 2005).

4. 요약 및 결론

과거보다 따뜻해진 환경은 변화의 폭이 크고 극단적 기상상태를 보이기 쉽기 때문에 지구온난화로 인한 보건문제는 더욱 중요한 지위를 차지할 전망이다. 이상 기온은 질병을 옮기는 곤충, 박테리아, 원생동물, 바이러스에게는 이로운 환경이다. 온도와 강수량 변화는 모기와 진드기처럼 질병을 옮기는 곤충의 생애주기에 영향을 미치기 때문에 질병 발생율과 전파의 중요한 결정요인이 된다. 역사적으로, 이상 고온이나 저온 현상과 같은 이상치의 발생은 질병의 출현

으로 이어지는 경우가 많았다. 최근 수십 년간의 경험도 이를 반영하듯, 고온건조한 상황이 빈번히 발생하고 있고, 이상 기온의 정도와 빈도에 따라 고령자의 사망률도 크게 영향 받고 있다. 꾸준한 의료 환경의 개선과 경제적 성장, 그리고 기술 발전의 결과, 많은 감염성 질병들이 줄어들었지만, 감염병의 재등장과 새로운 질병의 발생은 여전히 인간의 삶에 큰 위협으로 남아있다. 아시아를 비롯한 개발도상국의 보건을 위협하는 질병 중 감염병은 가장 심각한 보건문제로 인식되고 있고, 대다수 감염병 발생이 생태환경적 요인뿐만 아니라 사회경제적 요인들과 깊이 관련되어 있음이 확인되고 있다. 폭발적인 인구증가에 따른 도시화, 가속화하는 자연림의 훼손, 그리고 대규모의 토지 이용 변화 등으로 환경 변화의 강도와 빈도가 빠르게 증가하는 가운데 이로 인한 영향도 지리적인 특성을 띠 가능성이 커지고 있다(Jones *et al.*, 2008). 환경 변화의 시공간적 규모가 커진다는 것은, 상이한 환경 구성체들이 장기간에 걸쳐 복잡한 인과관계를 통해 변화하게 된다는 것을 의미한다. 따라서, 다양한 연구 분야에 몸담고 있는 환경 전문가들의 협업, 즉, 학제적인 접근 방법 없이는 환경 문제에 대한 정확한 이해와 효과적인 해결책을 찾기 힘들다. 다면적인 인문사회 현상과 자연현상을 설명하고 예측하는 이론과 분석기법을 연구하는 지리학의 특성은 이러한 보건환경 문제에 효과적으로 접근하는 데에 비교우위를 점할 수 있으며, 각종 보건재해 현상이 발생 또는 재등장할 가능성이 높은 지리적 범역을 과학적으로 파악하여 질병의 관리자원을 넘어 예방(prevention)에 이르기 위한 기반을 제공한다.

지리학내 하나의 세부 분야로서 비교적 오랜 전통을 지닌 보건지리학 연구는 기존의 생태학적 접근방법이 한계점으로 인식됨에 따라 성장의 폭이 크지 못했다. 그러나, 최근 GIS의 성장과 함께 보다 발전된 공간분석과 공간통계 방법론의 도입은 기존의 보건지리학 연구의 한계를 극복하고 한 단계 성숙된 새로운 연구분야로의 자리매김에 크게 기여하고 있다. 이에 따라, 최근 보건지리학 및 공간역학이 제공하는 고유하면서도 독특한 관점과 이러한 연구방법론이 제공하는 여러 이점들이 새롭게 조명되고 있다. 특히,

공간역학은 보건지리학과 역학을 이어주는 브리지로서의 역할을 하고 있고, 환경보건·역학 연구에 있어 보완적이면서 새로운 접근방식을 제시하고 있다. 국내에도 보건지리학 및 공간역학 연구 방법론의 도입이 조속히 이루어져야 할 시점이며, 이를 위해서는 전문적이고 체계적인 보건지리학 연구자의 양성과 교육 시스템의 구축이 선행되어야 할 것이다. 공간역학 방법론들의 올바른 활용을 위해서는 공간자료의 특성, 공간분석 방법들의 용도를 이해하는 일이 반드시 선행되어야 하며, 마찬가지로 역학·보건지리학에 대한 이해 없이 GIS를 이용하여 건강과 질병의 관계에 대한 지도화나 단순 공간관계 분석에 그치는 점에 주의해야 할 것이다.

사사

이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2011-332-B00656). 본 연구 수행을 위해 자료를 수집하고, 원고 수정에 도움을 준 부산대학교 대학원 사회교육학과 지리교육학 전공 김주혜와 탁한명에게 감사드린다.

참고문헌

Abeku, T. A., van Oortmarssen, G. J., Borsboom, G., de Vlas, S. J., and Habbema, J. D., 2003, Spatial and temporal variations of malaria epidemic risk in Ethiopia: factors involved and implications, *Acta Tropica*, 87, 331-340.

Afranc, Y. A., Lawson, B. W., Githeko, A. K., and Yan, G., 2005, Effects of microclimatic changes caused by land use and land cover on duration of gonotrophic cycles of *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae) in Western Kenya highlands, *Journal of Medical Entomology*, 42, 974-980.

Ahn, M. H. and Min, D. Y., 1999, Reemergence of malaria in South Korea, *Hanyang Journal of Medicine*, 19, 33-38 (안명희·민득영, 1999, 우리나라에서 말라리아의 재출현, 한양의대학술지, 19, 33-38).

Alonso, D., Bouma, M. J., and Pascual, M., 2011, Epidemic malaria and warmer temperatures in recent decades in an East African highland, *Proceedings of the Royal Society of London*, B 278, 1661-1669, doi: 10.1098/rspb.2010.2020.

Anderson, J. F., Andreadis, T. G., Vossbrinck, C. R., Tirrell, S., Wakem, E. M., French, R. A., Garmendia, A. E., and van Kruiningen, H. J., 1999, Isolation of West Nile virus from mosquitoes, crows, and a Cooper's hawk in Connecticut, *Science*, 286, 2331-2333.

Baek, S. H., 2004, A case-control, retrospective study on tsutsugamushi disease occurred in Gyeongju and Pohang provinces, Korea, *Journal of Agricultural Medicine and Community Health*, 29, 177-184 (백설향, 2004, 경주 및 포항 지역에서 발생한 쯔쯔가무시병에 관한 연구, 농촌의학 지역보건, 29, 177-184).

Barclay, E., 2008, Is climate change affecting dengue in the Americas? *The Lancet*, 371, 973-974.

Beck, L. R., Lobitz, B. M., and Wood, B. L., 2000, Remote sensing and human health: new sensors and new opportunities, *Emerging Infectious Diseases*, 6, 217-227.

Bouma, M. J., 2003, Methodological problems and amendments to demonstrate effects of temperature on the epidemiology of malaria: a new perspective on the highland epidemics in Madagascar, 1972-89, *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 97, 133-139.

Bowden, S. E., Magori, K., and Drake, J. M., 2011, Regional differences in the association between land cover and West Nile virus disease incidence in humans in the United States, *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 84, 234-238.

Brisbois, B. W. and Ali, S. H., 2010, Climate change, vector-borne disease and interdisciplinary research: social science perspectives on an environment and

- health controversy, *Ecohealth*, 7, 425-438.
- Brownstein, J. S., Holford, T. R., Fish, D., 2003, A climate-based model predicts the spatial distribution of the Lyme disease vector *Ixodes scapularis* in the United States, *Environmental Health Perspectives*, 111, 1152-1157.
- Brownstein, J. B., Holford, T. R., and Fish, D., 2005, Effect of climate change on Lyme disease risk in North America, *Ecohealth*, 2, 38-46.
- Brownstein, J. S., Skelly, D. K., Holford, T. R., and Fish, D., 2005, Forest fragmentation predicts local scale heterogeneity of Lyme disease risk, *Conservation Ecology*, 146, 469-475.
- Butraporn, P., Sornmani, S., and Hungsapruerk, T., 1986, Social, behavioural, housing factors and their interactive effects associated with malaria occurrence in east Thailand, *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 17, 386-392.
- Ceccato, P., Connor, S., Jeanne, I., and Thomson, M. C., 2005, Application of geographical information systems and remote sensing technologies for assessing and monitoring malaria risk, *Parasitologia*, 47, 87-96.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 1999, Ten great public health achievements-United States, 1900-1999, *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 48, 241-243.
- Chaves, L. F. and Koenraadt, C. J. M., 2010, Climate change and highland malaria: fresh air for a hot debate, *Quarterly Review of Biology*, 85, 27-55.
- Chaves, L. F., Hashizume, M., Satake, A., and Minakawa, N., 2012, Regime shifts and heterogenous trends in malaria time series from Western Kenya Highlands, *Parasitology*, 139, 14-25.
- Chen, H., White, D. J., Caraco, T. B., and Stratton, H. H., 2005, Epidemic and spatial dynamics of Lyme disease in New York State, 1990-2000, *Journal of Medical Entomology*, 42, 899-908.
- Coluzzi, M., 1999, The clay feet of the malaria giant and its African roots: hypotheses and inferences about origin, spread and control of *Plasmodium falciparum*, *Parasitologia*, 41, 277-283.
- Cooke, W. H. I., Grala, K., and Wallis, R. C., 2006, Avian GIS models signal human risk for West Nile virus in Mississippi, *International Journal of Health Geographics*, 5, 36. doi:10.1186/1476-072X-5-36.
- Craig, M. H., Kleinschmidt, I., Nawn, J. B., Le Sueur, D., and Sharp, B. L., 2004, Exploring 30 years of malaria case data in KwaZulu-Natal, South Africa: part I. the impact of climatic factors, *Tropical Medicine and International Health*, 9, 1247-1257.
- Cromley, E. K. and McLafferty, S. L., 2002, *GIS and Public Health*, Guilford Press, New York.
- DeGroot, J. P., Sugumaran, R., Brend, S. M., Tucker, B. J., and Bartholomay, L. C., 2008, Landscape, demographic, entomological, and climatic associations with human disease incidence of West Nile virus in the state of Iowa, USA, *International Journal of Health Geographics*, 7, 19, doi:10.1186/1476-072X-7-19.
- Dister, S. W., Fish, D., Bros, S. M., Frank, D. H., and Wood, B. L., 1997, Landscape characterization of peridomestic risk for Lyme disease using satellite imagery, *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 57, 687-692.
- Diuk-Wasser, M. A., Brown, H. E., Andreadis, T. G., and Fish, D., 2006, Modeling the spatial distribution of mosquito vectors for West Nile virus in Connecticut, USA, *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 6, 283-295.
- Eidson, M., Kramer, L., Stone, W., Hagiwara, Y., and Schmit, K., 2001, Dead bird surveillance as an early warning system for West Nile virus, *Emerging Infectious Diseases*, 7, 631-635.
- Eisen, R. J., Lane, R. S., Fritz, C. L., and Eisen, L., 2006, Spatial patterns of Lyme disease risk in California based on disease incidence data and modeling of vector-tick exposure, *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 75, 669-676.
- Eisen, R. J. and Eisen, L., 2007, Need for improved methods to collect and present spatial epidemiologic data for vectorborne diseases, *Emerging Infectious Diseases*, 13, 1816-1820.
- Eisen, R. J. and Eisen, L., 2008, Spatial modeling of hu-

- man risk of exposure to vector-borne pathogens based on epidemiological versus arthropod vector data, *Journal of Medical Entomology*, 45, 181-192.
- Elliott, P. and Wartenberg, D., 2004, **Spatial epidemiology: current approaches and future challenges**, *Environmental Health Perspectives*, 112, 998-1006.
- Epstein, P. R. 2005, Climate and human health, *New England Journal of Medicine*, 353, 1433-1436.
- Estrada-Peña, A., 2002, Increasing habitat suitability in the United States for the tick that transmits Lyme disease: a remote sensing approach, *Environmental Health Perspectives*, 110, 635-640.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., and Snyder, P. K., 2005, Global consequences of land use, *Science*, 309, 570-574.
- Frank, D. H., Fish, D., and Moy, F. H., 1998, Landscape features associated with Lyme disease risk in a suburban residential environment, *Landscape Ecology*, 13, 27-36.
- Gage, K. L., Burkot, T. R., Eisen, R. J., and Hayes, E. B., 2008, Climate and vectorborne diseases, *American Journal of Preventive Medicine*, 35, 436-450.
- Gibbs, S. E., Wimberly, M. C., Madden, M., Masour, J., Yabsley, M. J., and Stallknecht, D. E., 2006, **Factors affecting the geographic distribution of West Nile virus in Georgia, USA: 2002-2004**, *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 6, 73-82.
- Githeko, A. K. and Ndegwa, W., 2001, Predicting malaria epidemics in the Kenyan highlands using climate data: a tool for decision makers, *Global Change & Human Health*, 2, 54-63.
- Glass, G. E., Amerasinghe, F. P., Morgan, J. M. and Scott, T. W. 1994, **Predicting Ixodes scapularis abundance on white tailed deer using geographical information systems**, *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 51, 538-544.
- Glass, G. E., Schwartz, B. S., Morgan III, J. M., Johnson, D. T., Noy, P. M. and Israel, E., 1995, **Environmental risk factors for Lyme disease identified with geographic information systems**, *American Journal of Public Health*, 85, 944-948.
- Glavanakov, S., White, D. J., Caraco, T., Lapenis, A., Robinson, G. R., Szymanski, B. K., and Maniatty, W. A., 2001, Lyme disease in New York State: spatial pattern at a regional scale, *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 65, 538-545.
- Gubler, D. J., Reiter, P., Ebi, K. L., Yap, W., Nasci R., Patz, J. A., 2001, Climate variability and change in the U.S.: potential impacts on vector- and rodent-borne diseases, *Environmental Health Perspectives*, 109, 223-233.
- Guerra, C. A., Gikandi, P. W., Tatem, A. J., Noor, A. M., Smith, D. L., Hay, S. I. and Snow, R. W., 2008, The limits and intensity of Plasmodium falciparum transmission: **implications for malaria control and elimination worldwide**, *PLoS Med*, 5, e38.
- Han, D. and Hwang, S., 2011, Spatial epidemiology and environmental health: on the use of spatially referenced health and environment data, *Journal of Environmental Health Sciences*, 37, 1-11 (한대권·황승식, 2011, 공간역학과 환경보건: 공간위치정보 활용에 대한 고찰, 한국환경보건학회지, 37, 1-11).
- Han, E. J., O, D. H., Shin, E. S., Kim, J. G., Lee, I. H. and Nam, B. D., 1995, A clinical study of tsutsugamushi disease (10 cases) in children occurring in Pusan and Yangsan area, *Journal of the Pusan Medical Association*, 31, 47-52 (한은주·오동환·신은실·김진국·이인훈·남병도, 1995, 부산 화명, 양산 지역에서 다발적으로 발생한 소아 쯔쯔가무시병 10례의 임상적 고찰, 부산의사회지, 31, 47-52).
- Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Loveland, T. R., Townshend, J. R. G., Defries, R. S., Pittman, K. W., Arunareati, B., Stolle, F., Steiner, M. K., Carroll, M. and DiMiceli, C., 2008, **Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified by using multitemporal and multi-resolution remotely sensed data**, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 9439-9444.
- Harrus, S. and Baneth, G., 2005, **Drivers for the emer-**

- gence and re-emergence of vector-borne protozoal and bacterial diseases, *International Journal of Parasitology*, 35, 309-318.
- Hay, S. I., Guerra, C. A., Tatem, A. J., Atkinson, P. M. and Snow, R. W., 2005, Tropical infectious diseases: urbanization, malaria transmission and disease burden in Africa, *Nature Reviews Microbiology*, 3, 81-90.
- Hay, S. I., Cox, J., Rogers, D. J., Randolph, S. E., Stern, D. I., Shanks, G. D., Myers, M. F. and Snow, R. W., 2002, **Climate change and the resurgence of malaria** in the East African highlands, *Nature*, 415, 905-909.
- Hay, S. I., Rogers, D. J., Randolph, S. E., Stern, D. I., Cox, J., Shanks, G. D. and Snow, R. W., 2002, Hot topic or hot air? **Climate change and malaria resurgence** in East African highlands, *TRENDS in Parasitology*, 18, 530-534.
- Hayes, E. B., Komar, N., Nasci, R. S., Montgomery, S. P., O'Leary, D. R. and Campbell, G. L., 2005, Epidemiology and transmission dynamics of West Nile virus disease, *Emerging Infectious Diseases*, 11, 1167-1173.
- Heo, C. R., 1994, Tsutsugamushi disease, *Diagnosis and Treatment*, 14, 380-382 (허충림, 1994, 쯔쯔가무시병, 진단과 치료, 14, 380-382).
- Hidore, J. J., Oliver, J. E., Snow, M. and Snow, R., 2010, *Climatology-an Atmospheric Science*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ., 228-229.
- Hopp, M. J. and Foley, J. A., 2003, Worldwide fluctuations in dengue fever cases related to climate variability, *Climate research*, 25, 85-94.
- Hunter, P. R., 2003, Climate change and waterborne and vector-borne disease, *Journal of Applied Microbiology*, 94, 37S-46S.
- Jackson, L. E., Hilborn, E. D. and Thomas, J. C., 2006, Towards landscape design guidelines for reducing Lyme disease risk, *International Journal of Epidemiology*, 35, 315-322.
- Jang, J. G., Park, B. G., Lee, H. S., Maeng, J. H., Kim, H. S., Lee, S. C., Yun, S. C. and Choi, J. S., 2003, The study of 46 cases of tsutsugamushi disease in Young-Dong region in Gang-Won-Do, *Infection & Chemotherapy*, 35, 138-144 (장진근 · 박배근 · 이희섭 · 맹주희 · 김현승 · 이승찬 · 윤성규 · 최중수, 2003, 강원도 영동지방에서 발생한 쯔쯔가무시병 46예의 임상적 관찰, 감염과 화학요법, 35, 138-144).
- Jang, H. G., Park, J. S., Jun, M. J., Lee, J. A., Kim, H. M. U., 2008, Estimating infection distribution and prevalence of malaria in South Korea using a back-calculation formula, *The Korean Journal of Applied Statistics*, 21, 901-910 (장현갑 · 박정수 · 전미정 · 이정애 · 김한메울, 2008, 후향연산식을 활용한 국내 삼일열 말라리아의 감염분포와 유병자수 추정, 응용통계연구, 21, 901-910).
- Jetten, T. H. and Focks, D. A., 1997, Potential changes in the distribution of dengue transmission under climate warming, *American Journal of Tropical Medicine Hygiene*, 57, 285-297.
- Jin, S. H., Lee, G. H., Park, D. C., Lee, J. G., Lee, S. P., Joe, J. T., Park, H. G., Jung, S. J. and Hong, Y. A., 1988, Clinical study of 27 patients with tsutsugamushi disease in the Ulsan-Ulchu Area, *The Korea Journal of Internal Medicine*, 35, 383-389 (진성호 · 이관호 · 박동철 · 이진관 · 이승표 · 조준탁 · 박후근 · 정세주 · 홍영애, 1988, 울산, 울주지역에 발생한 쯔쯔가무시병 27 예에 대한 임상적 고찰, 대한내과학회지, 35, 383-389).
- Johnson, S., 2006, *The Ghost Map: The Story of London's Most Terrifying Epidemic-and How It Changed Science, Cities, and the Modern World*, Riverhead Books, New York.
- Jones, K. E., Patel, N. G., Levy, M. A., Storeygard, A., Balk D., Gittleman, J. L. and Daszak, P., 2008, Global trends in emerging infectious diseases, *Nature*, 451, 990-994.
- Jung, S. C., 2010, The climate and zoonosis, *Safe Food*, 5, 25-32 (정석찬, 2010, 기후변화와 인수공통전염병, *Safe Food*, 5, 25-32).
- Kho, W. G., Jang, Y., Hong, S. T., Lee, H. W., Lee, W. J., Lee, J. S., 1999, **Border malaria characters of re-emerging vivax malaria** in the Republic of Korea, *Korean Journal of Parasitology*, 37, 71-76.

- Killilea, M. E., Swei, A., Lane, R. S., Briggs, C. J. and Ostfeld, R. S., 2008, Spatial dynamics of lyme disease: a review, *Ecohealth*, 5, 167-95.
- Kilpatrick, A. M., Meola, M. A., Moudy, R. M. and Kramer, L. D., 2008, Temperature, viral genetics, and the transmission of West Nile virus by *Culex pipiens* mosquitoes, *PLoS Pathogens*, 4:e1000092
- Kilpatrick, A. M., 2011, Globalization, land use, and the invasion of West Nile virus, *Science*, 334, 323-327.
- Kim, J. H., 2011, Relationship of Incidence of Scrub typhus with meteorological factors and land usage, Master's thesis. The Graduate School of Sungkyunkwan University (김종현, 2011, 쯔쯔가무시병 발생과 관련된 기상요인과 토지이용의 영향, 석사학위논문. 성균관대학교 일반대학원).
- Kitron, U., 1998, Landscape ecology and epidemiology of vector-borne diseases: tools for spatial analysis, *Journal of Entomology*, 35, 435-445.
- Kitron, U. and Kazmierczak, J. J., 1997, Spatial analysis of the distribution of Lyme disease in Wisconsin, *American Journal of Epidemiology*, 145, 558-566.
- Kong, W. S., Shin, E. H., Lee, H. I., Hwang, T. S., Kim, H. H., Lee, N. Y., Sung, J. H., Lee, S. G., and Yoon, K. H., 2007, Time-spatial distribution of Scrub typhus and its environmental ecology, *Journal of the Korean Geographical Society*, 42, 863-878 (공우석·신이현·이희일·황태성·김현희·이난영·성지혜·이슬기·윤광희, 2007, 쯔쯔가무시증의 시·공간적 분포와 환경생태요인, 대한지리학회지, 42, 863-878).
- Korea Centers for Disease Control and Prevention, 2012, *Media Report*. <http://www.cdc.go.kr/> (질병관리본부, 2012, 보도자료. <http://www.cdc.go.kr>, accessed April 12, 2012).
- Korea National Institute of Health, 1994, Tsutsugamushi disease, *Communicable Disease Monthly Report*, 5, 119-130 (감염병발생정보, 1994, 쯔쯔가무시병, 감염병발생정보, 5, 119-130).
- Korea National Institute of Health, 2002, *Development of Early Warning System for Malaria Control*, Ministry of Health and Welfare (국립보건원, 2002, 말라리아 확산의 조기차단을 위한 조기경보 체계 개발, 보건복지부).
- Kramer, L. D., Styer, L. M., and Ebel, G. D., 2008, A global perspective on the epidemiology of West Nile virus, *Annual Review of Entomology*, 53, 61-81.
- Lanciotti, R. S., Roehrig, T. J., Deubel, V., Smith, J., Parker, M., Steele, K., Crise, B., Volpe, K. E., Crabtree, M. B., Scherret, J. H., Hall, R. A., MacKenzie, J. S., Cropp, C. B., Panigrahy, B., Ostlund, E., Schmitt, B., Malkinson, M., Banet, C., Weissman, J., Komar, N., Savage, H. M., Stone, W., McNamara, T. and Gubler, D. J., 1999, Origin of the West Nile virus responsible for an outbreak of encephalitis in the northeastern United States, *Science*, 286, 2333-2337.
- Landesman, W. J., Allan, B. F., Langerhans, R. B., Knight, T. M., Chase, J. M., 2007, Inter-annual associations between precipitation and human incidence of West Nile virus in the United States, *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 7, 337-343.
- Lee, J. H. and Park, J. S., 2009, Estimation of infection distribution and prevalence number of Tsutsugamushi fever in Korea, *Journal of the Korean Data and Information Science Society*, 20, 149-158 (이정희·박정수, 2009, 국내 쯔쯔가무시증의 감염자 분포와 유병자수 추정, 한국데이터정보과학회지, 20, 149-158).
- Lee, J. S., 1986, Tsutsugamushi disease, *Epidemiology and Health*, 8, 193-199 (이정상, 1986, 쯔쯔가무시병, 한국역학회지, 8, 193-199).
- Lee, H. I., Seo, B. Y., Kim, H. W., Shin, I. H. and Lee, W. J., 2002, Identification of malaria high risk area using the remote sensing data, *The Report of National Institute of Health*, 39, 220-221 (이희일·서보열·김현우·신이현·이원자, 2002, 원격탐사 자료를 이용한 말라리아매개모기 다발생 지역 탐색, 국립보건연구원보, 39, 220-221).
- Lehman, J. A., Hinckley, A. F., Kniss, K. L., Nasci, R. S., Smith, T. L., Campbell, G. L. and Hayes, E. B., 2007, Effect of hurricane Katrina on arboviral disease transmission, *Emerging Infectious Diseases*, 13, 1273-1274.
- Mabaso, M. L., Kleinschmidt, I., Sharp, B. and Smith,

- T., 2007, El Niño Southern Oscillation (ENSO) and annual malaria incidence in Southern Africa, *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 101, 326-330.
- Mccabe, G. J. and Bunnell, J. E., 2004, Precipitation and the occurrence of Lyme disease in the northeastern United States, *Vector-Borne and Zoonotic Disease*, 4, 143-148.
- Martens, W. J. M., Jetten, T. H. and Focks, D. A., 1997, Sensitivity of malaria, schistosomiasis and dengue to global warming, *Climate Change*, 35, 145-156.
- Maupin, G. O., Fish, D., Zultowsky, J., Campos, E. G. and Piesman, J., 1991, **Landscape ecology of Lyme disease** in a residential area of Westchester County, New York, *American Journal of Epidemiology*, 133, 1105-1113.
- Meade, M. S. and Earickson, R. J., 2005, *Medical Geography*, Guildford Press, New York.
- Minakawa, N., Sonyeb, G., Mogenic, M., Githeko, A. and Yana, G., 2002, The effects of climatic factors on the distribution and abundance of malaria vectors in Kenya, *Journal of Medical Entomology*, 39, 833-841.
- Munga, S., Minakawa, N., Zhou, G., Mushinzimana, E., Barrack, O. J., Githeko, A. K. and Yan, G., 2006, Association between land cover and habitat productivity of malaria vectors in western Kenyan highlands, *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 74, 69-75.
- Munro-Faure, A. D., Andrew, R., Missen, G. A. and Mackay-Dick, J., 1951, Scrub typhus in Korea, *Journal of the Royal Army Medical Corps*, 97, 227-229.
- Nuckols, J. R., Ward, M. H. and Jarup, L., 2004, Using geographic information systems for exposure assessment in environmental epidemiology studies, *Environmental Health Perspectives*, 112, 1007-1015.
- Ogden, N. H., Lindsay, L. R., Beauchamp, G., Charron, D., Maarouf, A., O'Callaghan, C. J., Waltner-Toews, D. and Barker, I. K., 2004, Investigation of relationships between temperature and developmental rates of tick *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) in the laboratory and field, *Journal of Medical Entomology*, 41, 622-633.
- Ogden, N. H., Maarouf, A., Barker, I. K., Bigras-Poulin, M., Lindsay, L. R., Morshed, M. G., O'Callaghan, C. J., Ramay, F., Waltner-Toews, D. and Charron, D., 2006, Climate change and the potential for range expansion of the Lyme disease vector *Ixodes scapularis* in Canada, *International Journal for Parasitology*, 36, 63-70.
- Orloski, K. A., Hayes, E. B., Campbell, G. L. and Dennis, D. T., 2000, Surveillance for Lyme disease-United States, 1992-1998, *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 49, 1-11.
- Orloski, K. A., Campbell, G. L., Genese, C. A., Beckley, J. W., Schriefer, M. E., Spitalny, K. C. and Dennis, D.T., 1998, Emergence of Lyme disease in Hunterdon County, New Jersey, 1993: a case-control study of risk factors and evaluation of reporting patterns, *American Journal of Epidemiology*, 147, 391-397.
- Ostfeld, R. S. and Keesing, F., 2000, **Biodiversity and disease risk: the case of Lyme disease**, *Conservation Biology*, 14, 722-728.
- Ostfeld, R. S., Glass, G. E. and Keesing, F., 2005, Spatial epidemiology: **an emerging (or re-emerging) discipline**, *TRENDS in Ecology and Evolution*, 20, 328-336.
- Overgaard, H. J., Ekbohm, B., Suwonkerd, W. and Takagi, M., 2003, **Effect of landscape structure on anopheline mosquito density and diversity in northern Thailand: implications for malaria transmission and control**, *Landscape Ecology*, 18, 605-619.
- Park, M. R., 1999, Application of GIS to malaria study in Korea, *Journal of Geography*, 33, 27-44 (박미라, 1999, GIS를 활용한 국내 말라리아 발생에 관한 연구, *지리학논총*, 33, 23-28).
- Park, J. W., Klein, T. A., Lee, H. C., Pacha, L. A., Ryu, S. H., Yeom, J. S., Moon, S. H., Kim, T. S., Chai, J. Y., **Oh, M. D. and Choe, K. W., 2003, Vivax malaria: a continuing health threat to the Republic of Korea**, *American Journal of Tropical Medicine and*

- Hygiene*, 69, 159-167.
- Park, S. J., 2008, Characteristics relating to the occurrence of tsutsugamushi disease using GIS, Doctoral dissertation. The Graduate School of Inje University (박수조, 2008, GIS를 이용한 쯔쯔가무시병 발생의 특성 분석, 보건학박사학위논문. 인제대학교 대학원).
- Pascual, M., Ahumada, J. A., Chaves, L. F., Rodo, X. and Bouma, M., 2006, Malaria resurgence in the East African highlands: temperature trends revisited, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 5829-5834.
- Patnaik, J. L., Juliusson, L. and Vogt, R. L., 2007, Environmental predictors of human West Nile virus infections, Colorado, *Emerging Infectious Diseases*, 13, 1788-1790.
- Patz, J. A., Martens, W. J. M., Focks, D. A. and Jetten, T. H., 1998, Dengue fever epidemic potential as projected by general circulation models of global climate change, *Environmental Health Perspectives*, 106, 147-153.
- Patz, J. A., Strzepek, K., Lele, S., Hedden, M., Greene, S., Noden, B., Hay, S. I., Kalkstein, L. and Beier, J. C., 1998, **Predicting key malaria transmission factors**, biting, and entomological inoculation rates using modelled soil moisture in Kenya, *Tropical Medicine and International Health*, 3, 818-827.
- Patz, J. A. and Reisen, W. K., 2001, Immunology, climate change and vector-borne diseases, *Trends in Immunology*, 22, 171-172.
- Patz, J. A., Daszak, P., Tabor, G. M., Aguirre, A. A., Pearl, M., Epstein, J., Wolfe, N. D., Kilpatrick, A. M., Foutopoulos, J., Molyneux, D., Bradley, D. J. and Members of the Working Group on Land Use Change Disease Emergence, 2004, Unhealthy Landscapes: Policy Recommendations on Land Use Change and Infectious Disease Emergence, *Environmental Health Perspectives*, 112, 1092-1098.
- Patz, J. A. and Olson, S. H., 2006, Climate change and health: global to local influences on disease risk, *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 100, 535-549.
- Patz, J. A., Olson, S. H., Uejio, C. K. and Gibbs, H. K., 2008, Disease emergence from global climate and land use change, *Medical Clinics of North America*, 92, 1473-1791.
- Pavlovsky, E. N., 1966, *The Natural Nidality of Transmissible Disease*, Urbana, University of Illinois.
- Pherez, F. M., 2007, Factors affecting the emergence and prevalence of vector borne infections (VBI) and the role of vertical transmission (VT), *Journal of Vector Borne Diseases*, 44, 157-163.
- Pontes, R. J., Freeman, J., Oliveira-Lima, J. W., Hodgson, J. C. and Spielman, A., 2000, Vector densities that potentiate dengue outbreaks in a Brazilian city, *American Journal of Tropical Medicine Hygiene*, 62, 378-383.
- Reisen, W. K., Lothrop, H. D., Presser, S. B., Hardy, J. L., Gordon, E. W., 1997, **Landscape ecology of arboviruses** in southeastern California - temporal and spatial patterns of enzootic activity in Imperial Valley, 1991-1994, *Journal of Medical Entomology*, 34, 179-188.
- Reisen, W. K., Fang, Y. and Martinez, V. M., 2006, Effects of temperature on the transmission of West Nile Virus by *Culex tarsalis* (Diptera: Culicidae), *Journal of Medical Entomology*, 43, 309-317.
- Reisen, W. K., 2010, Landscape epidemiology of vector-borne diseases, *Annual Review of Entomology*, 55, 461-483.
- Reiter, P., 2008, Global warming and malaria: knowing the horse before hitching the cart, *Malaria Journal*, 7, S3.
- Rogers, D. J., Myers, M., Tucker, C. J., Smith, P. and White, D. J., 2002, Predicting the distribution of West Nile fever in North America using satellite sensor data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68, 181-220.
- Rogers, D. J., Randolph, S. E., Snow, R. W. and Hay, S. I., 2002, Satellite imagery in the study and forecast of malaria, *Nature*, 415, 710-715.
- Rogers, D. J. and Randolph, S. E., 2006, Climate change and vector-borne diseases, *Advances in Parasitology*

- logy, 62, 345-381.
- Ruiz, M. O., Tedesco, C., McTighe, T. J., Austin, C. and Kitron, U., 2004, Environmental and social determinants of human risk during a West Nile virus outbreak in the greater Chicago area, 2002, *International Journal of Health Geographics*, 3, 8, doi:10.1186/1476-072X-3-8.
- Ruiz, M. O., Walker, E. D., Foster, E. S., Haramis, L. D. and Kitron, U. D., 2007, Association of West Nile virus illness and urban landscapes in Chicago and Detroit, *International Journal of Health Geographics*, 6, 10, doi:10.1186/1476-072X-6-10.
- Schwabe, C. W., 1984, *Veterinary Medicine and Human Health* (3rd ed.), Williams & Wilkins. Baltimore, MD.
- Shanks, G. D., Hay, S. I., Stern, D. I., Biomndo, K. and Snow, R. W., 2002, Meteorologic influences on Plasmodium falciparum malaria in the highland tea estates of Kericho, Western Kenya, *Emerging Infectious Diseases*, 8, 1404-1408.
- Shin, H. S., 2011, Malaria prevalence rate and weather factors in Korea, *Health and Social Welfare Review*, 31, 217-137 (신호성, 2011, 기상요소와 지역 말라리아 발생자수의 상관관계, 보건사회연구, 31, 217-137).
- Shope, R., 1991., Global climate change and infectious diseases, *Environmental Health Perspectives*, 96, 171-174.
- Soverow, J. E., Wellenius, G. A., Fisman, D. N. and Mittleman, M. A., 2009, Infectious disease in a warming world: how weather influenced West Nile virus in the United States (2001-2005), *Environmental Health Perspectives*, 117, 1049-1052.
- Stern, D. I., Gething, P. W., Kabaria, C. W., Temperley, W. H., Noor, A. M., Okiro, E. A., Shanks, G., Snow, R. W. and Hay, S. I., 2011, Temperature and malaria trends in highland east Africa, *PLoS ONE*, 6(9), e24524, doi:10.1371/journal.pone.0024524.
- Subak, S., 2002, Effects of climate on variability in Lyme disease incidence in the northeastern United States, *American Journal of Epidemiology*, 157, 531-538.
- Sui, D. Z., 2007, Geographic information systems and medical geography: toward a new synergy, *Geography Compass*, 1, 556-582.
- Sutherst, R. W., 2004, **Global change and human vulnerability to vector-borne diseases**, *Clinical Microbiology Reviews*, 17, 136-173.
- Tachiiri, K., Klinkenberg, B., Mak, S. and Kazmi, J., 2006, **Predicting outbreaks: a spatial risk assessment of West Nile virus in British Columbia**, *International Journal of Health Geographics*, 5, 21, doi:10.1186/1476-072X-5-21.
- Thomson, M. C., Mason, S. J., Phindela, T. and Connor, S. J., 2005, **Use of rainfall and sea surface temperature monitoring for malaria early warning in Botswana**, *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 73, 214-221.
- Thomson, M. C., Doblaz-Reyes, F. J., Mason, S. J., Hagedorn, R., Connor, S. J., Phindela, T., Morse, A. P. and Palmer, T. N., 2006, Malaria early warnings based on seasonal climate forecasts from multi-model ensembles, *Nature*, 439, 576-579.
- Turner, M. G., 1989, Landscape Ecology: the effect of pattern on process, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20, 171-109.
- Waller, L. A., Goodwin, B. J., Wilson, M. L., Ostfeld, R. S., Marshall, S. L. and Hayes, E. B., 2007, Spatio-temporal patterns in county-level incidence and reporting of Lyme disease in the northeastern United States, 1990-2000, *Environmental and Ecological Statistics*, 14, 83-100
- Ward, M. P., 2008, Spatial epidemiology: where have we come in 150 years? In Sui, D.Z. (Ed.) *Geospatial Technologies and Homeland Security*, Springer, New York, NY.
- Watson, R. T., Patz, J., Gubler, D. J., Parson, E. A. and Vincent, J. H., 2005, **Environmental health implications of global climate change**, *Journal of Environmental Monitoring*, 7, 834-843.
- WHO, 2009, *Protecting Health from Climate Change*, World Health Organization, Geneva.
- Wi, S. H., Jang, W. Y., Kim, H. W., Heo, J. A., Kim, S.

- I., Kim, Y. R. and Kang, M. W., 2008, Clinical Features of 212 Cases of Scrub typhus in southern region of Gyeonggi-Do and the significance of initial simple chest x-ray, *Infection and Chemotherapy*, 40, 40-45 (위성현·장우임·김형욱·허지안·김상일·김양리·강문원, 2008, 경기도 남부 지역에서 발생한 쯔쯔가무시병 212예의 임상적 특성 및 초기 단순 흉부 엑스선 사진의 의의, 감염과 화학요법, 40, 40-45).
- Winters, A. M., Bolling, B. G., Beaty, B. J., Blair, C. D., Eisen, R. J., Meyer, A. M., Pape, W. J., Moore, C. G. and Eisen, L., 2008, Combining mosquito vector and human disease data for improved assessment of spatial West Nile virus disease risk, *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 78, 654-665.
- Wolfe, N. D., Switzer, W. M., Carr, J. K., Bhullar, V. B., Shanmugam, V., Tamoufe, U., Prosser, A. T., Torimiro, J. N., Wright, A., Mpoudi-Ngole, E., McCutchan, F. E., Birx, D. L., Folks, T. M., Burke, D. S. and Walid H., 2004, Naturally acquired simian retrovirus infections in central African hunters, *Lancet*, 363, 932-937.
- Wort, U. U., Hastings, I. M., Carlstedt, A., Mutabingwa, T. K. and Brabin, B. J., 2004, Impact of El Nino and malaria on birthweight in two areas of Tanzania with different malaria transmission patterns, *International Journal of Epidemiology*, 33, 1311-1319.
- 교신: 박선엽, 609-735, 부산광역시 금정구 부산대학교 63번길 2, 부산대학교 사범대학 지리교육과(이메일: spark@pusan.ac.kr, 전화: 051-510-2655, 팩스: 051-510-2655)
- Correspondence: Sunyurp Park, Department of Geography Education, Pusan National University, Busan 609-735, Korea (e-mail: spark@pusan.ac.kr, phone: +82-51-510-2655, fax: +82-51-510-2655)
- 최초투고일 2012. 4. 16
수정일 2012. 8. 25
최종접수일 2012. 9. 5