

매개모기의 서식환경과 토지이용 구조가 말라리아 발생에 미치는 영향 - 말라리아 고위험지역을 대상으로*

김주혜¹ · 박선엽^{1*}

The Impact of Land Use Structure and Vector Habitat Conditions on the Incidence of Malaria—A Case Study in High-Incidence Areas*

Ju-Hye KIM¹ · Sun-Yurp PARK^{1*}

요 약

1980년대에 근절된 것으로 여겨졌던 말라리아는 재출현 이후 지난 10년간 증감을 거듭하고 있다. 우리나라의 경우에는, 휴전선에 인접한 지역이 말라리아 발생의 핫스팟으로 분류될 만큼 지역적 특징이 뚜렷하게 나타나고 있다. 특히, 휴전선 부근 시·군지역이 말라리아 발생의 위험지역으로 분류될 뿐만 아니라 지역 간 말라리아 발생률에서 차이가 있으며, 질병 발생의 중심이 변화하는 경향을 보이고 있다. 이는, 말라리아 발생이 지역별로 상이하게 펼쳐져 있는 자연 및 거주지 환경에 영향 받고 있음을 말해준다. 말라리아는 매개모기에 의해 병원체가 전달되는 것으로 이 과정은 특정 기후 및 인문환경 시스템 속에서 발현된다. 기후 요소는 매개모기와 병원체에 매우 다양하게 영향을 미치며 기온은 가장 대표적인 환경요인이다. 또한 매개모기와 인간과의 접촉 빈도와 접촉 거리는 말라리아 발생률에 가장 직접적인 영향을 미치는 요인이다. 본 연구에서는 지역별로 다른 국지적인 기후조건, 매개모기의 산란 및 서식환경의 비중, 매개모기와 거주지 간의 거리에 따라 말라리아 발생이 지역별로 차이가 나타난다는 점을 기상자료, 인공위성 기반의 토지피복 자료를 활용하여 확인하였다.

주요어 : 말라리아, 매개모기, 서식 환경, 토지피복, 기후 요소

ABSTRACT

Eradication of endemic malaria was declared in mid 1980's in Korea, but the number of malaria cases has been oscillating for the past 10 years since the reemergence of

2013년 3월 15일 접수 Received on March 15, 2013 / 2013년 5월 13일 수정 Revised on May 13, 2013 / 2013년 8월 20일 심사완료 Accepted on August 20, 2013

* 본 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2011-332-B00656).

1 부산대학교 지리교육과 Department of Geography Education, Pusan National University

* Corresponding Author E-mail : spark@pusan.ac.kr

the disease in early 1990's. The occurrence of malaria has been concentrated near the demilitarized zone(DMZ), and the regional characteristics of the disease are evident. Considering the spatial variations of malaria incidence across the high-risk areas, the hotspot of the disease, it seems that the occurrence of the disease is influenced by the natural and human environment in the region. Malaria is an infectious disease that is transmitted to humans by the bites of vector-mosquitoes carrying malaria parasites, and it depends on specific climatic and sociodemographic factors. Malaria transmission is highly climate-sensitive, and temperature is the most important component. In addition, human contacts with vector-mosquitoes and the distance between human residence and mosquito habitats are crucial conditions determining malaria incidence rates. The present study aimed to test a hypothesis that the spatial characteristics of malaria incidence depended on local climatic conditions, relative proportions of mosquito habitats, and the distance between mosquito habitats and human residence using meteorological and satellite-based land cover data.

KEYWORDS : *Malaria, Vector Mosquito, Mosquito Habitat, Land Cover, Climatic Factors*

서론

기후변화, 토지이용변화, 인구분포를 포함한 생태환경변화가 감염병 발생과 확산에 미치는 영향이 점차 증가하고 있다(Brownstein *et al.*, 2005; Brisbois and Ali, 2010). 특히, 모기와 같은 매개 곤충에 의해 전파되는 벡터매개 질병은 온도변화에 따라 그 발생률이 민감하게 변동하기 때문에 기후의 아열대화가 빠른 속도로 진행되고 있는 한반도의 환경을 고려할 때 이에 대한 적극적인 대비가 요청된다(Park and Han, 2012). 말라리아는 모기를 매개로 하는 열대성 질병으로 아프리카를 중심으로 하여 비교적 광범위하게 퍼져있으며, 아시아는 전체 발병 사례의 26%를 차지하여 그 뒤를 따르고 있다(Guerra *et al.*, 2008). 우리나라의 경우 한국전쟁 당시 유행한 바 있으나 현대적 의학의 보급과 정부와 세계보건기구의 말라리아 퇴치 사업으로 1950년대 중반 이후 지속적인 감소 추세를 보였고, 1980년대 중반에는 토착형 말라리아 발생이 완전히 근절된 것으로 여겨졌다. 그러나 1993년 파주지역 비무장지대에 복무중인 군인이 말라리아에 감염된 이후로 1997년

에는 감염환자의 수가 전년대비 38% 증가 폭을 보이는 등 급증세가 지속된 결과, 2000년 통계 기준으로 말라리아 감염자 수가 4,138명으로 최고치를 나타냈다. 국내 말라리아 발병은 주로 휴전선에 인접한 강원도나 경기도 북부지역에 집중되어 있고, 해를 거듭하면서 발생자수의 증감이 지속되고 있다. 우리나라에서 발생하는 말라리아는 발생유형과 북한지역과의 지리적 연관성 등을 고려했을 때 국경형 말라리아의 특성을 보인다(Ahn and Min, 1999; Park *et al.*, 2003).

매개모기가 산란하고 서식하기 좋은 장소는 물이 모일 수 있는 지표면이다. 이것은 토지 피복 및 토지 이용의 특성과 강수량에 의해 결정되며, 또한 그 물웅덩이는 모기 유충이 서식하기에 적합한 염분, 혼탁도, 햇빛, 온도 등을 만족시켜야 한다(Machault *et al.*, 2011). 즉, 공간적으로 기후조건과 지표면의 특징에 따라 지역별로 말라리아 발생률이 달라질 수 있기 때문에 말라리아 감염은 지리적 특성을 띠게 된다. 기존의 기상, 인구, 환경 자료에 추가적으로 원격탐사자료와 같이 광범위한 지역을 다루는 공간자료를 사용함으로써 질병의 발생가능성, 전파 추정과 관련된 지리적 현상을 이해하는

데에 중요한 해결책을 얻을 수 있게 됨에 따라 이러한 공간자료는 점차 전염성 질병의 확산 모델을 생성하는 데에 빈번히 적용되고 있다 (Brownstein *et al.*, 2003; Clennon *et al.*, 2004). 위성 기반의 원격탐사 자료는 광역적이며 주기적인 자료 획득을 통한 토지피복도 생성이 가능하기 때문에 말라리아와 같이 계절적 특성을 지니고 있는 전형적인 벡터 매개 전염병의 지리적 발현특성을 이해하는 데에 큰 이점을 가지고 있다 (Smith *et al.*, 1993; Snow *et al.*, 1993; Hay *et al.*, 1998).

본 연구는 지난 10년간 말라리아 발생의 핫스팟으로 분류된 시·군·구 지역 간에 나타난 발생률 차이를 지역별로 상이한 기후, 물환경, 인구분포 조건의 차이로 설명하고자 한다. 말라리아는 국지적인 기후조건, 매개모기의 산란 및 서식환경의 비중, 매개모기와 인간과의 거리에 따라 지역별로 전파 양상이 다르게 전개되고 발생률에 있어서도 차이를 나타낼 것으로 예상하고, 위성자료에 기반 한 토지피복도와 기상자료를 활용하여 이를 검증하고자 한다.

공간정보를 이용한 말라리아 연구 동향

말라리아와 같은 벡터매개 질병은 통상 작은 절지동물 또는 곤충을 통해 전파되지만, 이 과정은 질병과 관련된 특정 생태학적 시스템 속에서 발현된다. 전 지구적 규모의 기후변화와 기술발전은 최근의 벡터매개 질병 확산의 두 가지 중요요인으로 지목되고 있다. 자연환경적 요인과 함께 인구의 증가 및 집중, 생산 활동의 변화, 인간의 대규모 이동 패턴은 환경시스템 요소의 변화와 교란을 일으킴으로써 전염성 질병의 발생과 재발을 동인(動因)하는 중요한 인자가 된다. 최근의 환경변화로 인한 보건문제에 직면하여, 생태역학(ecoepidemiology)이 중요 학문분과로 성장하고 있는 점은 이러한 생태적 특성에 주목한 결과이다 (Cromley and McLafferty, 2002; Park, 2012). 1980년대 이후로 보건정책 상의 우선순위에서 벗어나 있

던 벡터매개 질병의 관리가 재조명 되면서, 지리정보 분석에 기반 한 접근 방법이 질병 연구의 유용한 도구로 인식되고 있다. 말라리아의 경우, 매개모기의 예상서식처와 인간의 거주 공간 정보를 모델링하는 데에 지리정보분석기법이 효과적이기 때문에 광역적인 말라리아 분포와 확산 연구에 보건지리학적 관리방식이 널리 활용되고 있다 (Nicholas and Mather, 1996; Beck *et al.*, 2000; Waring *et al.*, 2005).

말라리아 발생과 관련된 최근 연구 중 가장 일반적인 유형은 매개모기의 개체 수에 직접적인 영향을 미치는 기후요소와 관련된 것이다. Shin (2011)은 지역 단위에서 발생하는 말라리아 발생자수와 기상요소와의 관련성을 살펴본 있는데, 일반적으로 말라리아는 16°C 이상에서 발생하며 30°C 범위를 넘어서면 발생수가 급격히 감소하는 경향이 있다고 보고하였다. 강수패턴과 관련해서 Patz *et al.* (1998)은 토지피복 및 토양수분의 분포가 모기로 인한 말라리아 발생 추이를 추정하는 데에 중요한 요인으로 작용한다는 결과를 보여주었다.

말라리아는 사람과 사람 간의 감염이 아닌 매개모기를 통한 병원체의 전파를 통해 감염된다는 점에서 벡터모기, 거주지 분포, 병원체의 근원지 상호간의 거리 관계에 따른 공간프로세스로 설명되고 있다 (Reisen, 2010). 즉, 매개모기, 인간, 그리고 병원체의 공간분포에 영향을 주는 환경적인 요인들 간의 공간관계가 질병의 분포를 결정하는 요인이 된다는 것이다. 이에 따라, 최근의 역학 연구는 벡터매개 질병의 발생과 위험도를 파악함에 있어 공간적 차별성의 중요성을 강조해가고 있다 (Ostfeld *et al.*, 2005).

말라리아 연구의 초점이 매개모기의 서식 환경의 지역적 차이로 옮겨감에 따라 연구지역의 토지이용 특성을 파악하여 매개모기로 인한 감염 과정이나 매개모기의 서식지를 파악하려는 연구가 수행되었다 (Diuk-Wasser *et al.*, 2006). Norris (2004)의 연구에서는 강, 호수, 논 중에 모기 유충의 서식환경으로 가장 효율적인 서식환경을 논이라고 분석하였다. 이는 모

기 유충이 수심이 얇고 흐름이 잔잔한 물의 표면에서 잘 서식하며, 동일한 면적 대비 서식처로 적합한 부분의 밀도가 높기 때문이다. 또, Zhou *et al.*(2012)은 물 환경과 주거지와 거리에 주목하고 물과 관련된 환경을 논, 도랑, 개천으로 두고 이들의 위치와 연구지역 내 말라리아 발생 가구의 위치 정보를 수집하였다. 연구 결과, 설정한 거리 관계에 따라 발생률에 차이를 보였는데, 물 환경으로부터 60m 이내에서 74.24%, 60m~120m 범위에서 16.38%, 120m이상에서 9.38%의 환자 수가 각각 보고되었다. 이것은 물 환경으로부터 거주지에 이르는 거리와 말라리아 발생률이 서로 상관관계를 갖고 있다고 해석할 수 있으며, 병원체의 공간 분포에 영향을 주는 환경적인 요인들과 인간의 분포가 지역 간 발생률을 결정하는 요인이 될 수 있음을 보여준 결과이다.

말라리아 감염 메커니즘과 발병 추이

말라리아는 플라스모디움속(genus of Plasmodium)의 병원체에 인간이 감염되는 것으로, 병원체의 숙주인 아노펠레스속(genus of Anopheles)의 암컷 모기가 인간을 물 때 병원체가 인간에게로 이동한다. 말라리아를 옮기는 병원체의 생애주기는 숙주인 모기의 성장주기에 결정적으로 의존하며, 모기의 성장주기는 모기에 적합한 산란 및 서식환경 조건에 의해 결정된다(Machault *et al.*, 2011). 결과적으로 말라리아는 병원체에 감염된 모기의 시·공간적 분포와 이동적이고 감염에 취약한 인구와의 접촉 가능성에 따라 발병 위험도가 결정된다고 볼 수 있다.

말라리아를 발생시키는 주요한 환경적 동인들은 매개모기의 개체 수에 직접적으로 영향을 미치는 기온·습도·강수량과 같은 기후조건과 모기 유충이 산란되고 서식하는 장소이다. 말라리아를 가장 잘 옮기는 모기인 아노펠레스 감비아(*Anopheles gambiae*)는 실험실 조건 하에서 하나의 미숙한 단계에서 다음 단계로 넘어갈 때 더 높은 온도 일수록 발달 속도가 증

가하며 그 정점은 28℃정도이며, 이후의 온도에서는 감소한다. 최적의 상태로 다 자란 어른 모기는 22℃에서 26℃ 사이에서 출현하고 18℃이하 또는 34℃이상에서는 성장이 완벽히 억제된다. 또, 일정 범위 내에서 매개모기는 기온이 높을수록 산란에 필요한 흡혈활동을 더 활발하게 하는 것으로 알려져 있다(Bayoh and Lindsay, 2003; Epstein and Ferber, 2012).

1993년 국내 말라리아의 재출현 이후 발병 수는 2000년에 최고치를 기록한 가운데 증감을 거듭하고 있다. 정부의 강력한 퇴치사업이 진행되면서 2001년~2004년까지 전년대비 25%~30% 이상의 환자 감소를 보였으나, 2005년 다시 증가하기 시작하였다. 2007년(2,227명) 다시 정점을 보인 후 2008년에는 감염자 수가 1,052명으로 2007년 대비 53%의 큰 감소세를 보였으나, 2009년과 2010년에는 각각 전년대비 28%, 32%의 증가를 보였다. 2011년에는 전체 감염 환자 수가 843명으로 2010년 1,772명 대비 52%의 큰 감소를 보였다. 전체적으로 국내 말라리아 감염자 수는 최근 10년 간 감소 경향을 보이고 있으나, 시기에 따라 질병 관리 역량을 넘어서는 피크가 존재한다(그림 1).

한편, 재유행 시작부터 현재까지의 말라리아 발생 상황은 역학적 특성 및 환자들의 인구학적 특성에 따라 1993년~1998년의 전반기와 그 이후의 후반기로 나눌 수 있다. 재출현 이후 1998년까지 빠르게 증가하던 환자의 대부분은 주로 현역 군인이었으나, 1998년에는 제대 군인을 포함한 민간인의 비율이 절반이상을 차지하게 되었고 2002년에는 제대 군인을 제외한 민간인의 비율이 전체 환자의 절반 이상을 차지하였다. 이후 현역 군인의 비율은 지속적으로 감소하여 2004년과 2005년에는 전체 환자의 20%미만을 차지하였다(Yeom *et al.*, 2007).

재 발생 초기의 말라리아 발생이 DMZ에 인접한 지역에서 주로 일어난 것으로 미루어 볼 때, 말라리아에 감염된 어른 모기가 북한에서 남한 지역으로 이동하여 남한지역의 말라리아 재 발생에 직접적으로 영향을 미쳤을 것이라는

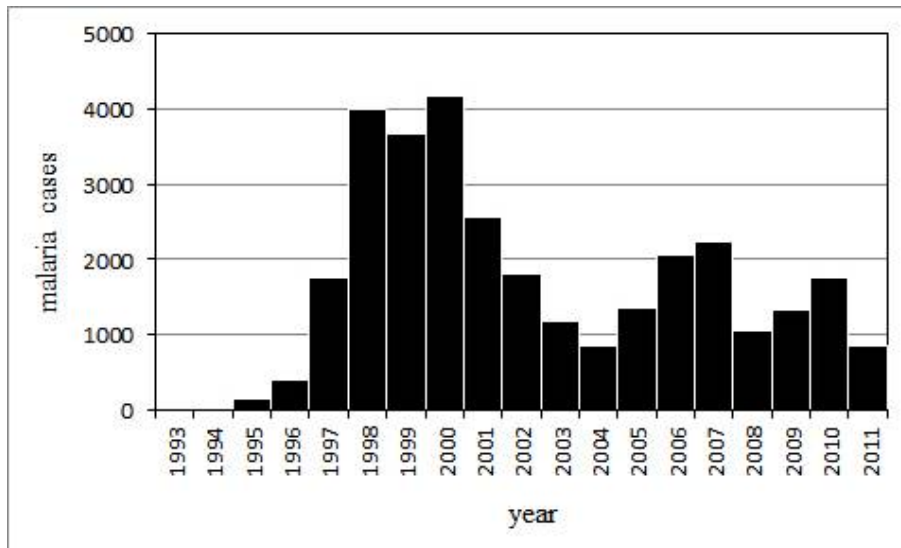


FIGURE 1. Malaria cases in Korea(1993–2011)

의견이 제기되고 있으며(Park *et al.*, 2009), 발생의 역학적·인구학적 특성을 미루어 볼 때, 재 발생 이후 20여년의 시간이 흐르면서 남한의 지역 내 전파에 의한 말라리아 발생이 의심된다. 지난 10년간 우리나라의 말라리아 발생의 주요 분포 지역은 휴전선 접경 지역인 강원도, 경기도, 인천의 시·군·구 지역들이다. 또한 말라리아 발생의 핫스팟이 경기서북부 지역으로 이동하는 경향을 보인다.

연구 지역, 자료 및 연구 방법

1. 연구 지역

연구 대상 지역은 10개 시·군·구 지역으로 인천 강화군, 경기도 김포시·고양시·파주시·연천군, 강원도 철원군·화천군·양구군·인제군·고성군이다. 이들 지역은 지난 10여 년 간 말라리아 발생의 핫스팟 지역으로 휴전선에 모두 인접하고 있어 매개모기가 북한으로부터 유입되었다는 가설을 뒷받침하고 있다(그림 2). 그러나 재 발생 직후 군인 인구가 대부분이었던 것과 달리 최근 10여 년 동안 말라리아 발생인구에 있어 군인의 비중은 점점 감소되고

있으며, 발생의 핫스팟 지역 또한 휴전선으로부터 수십 km 떨어진 민간인 지역으로 이동하였다(Korean Center for Disease Control and Prevention, 2008). 이에 따라, 본 연구에서는 지난 10여 년 동안 남한 내에서 지역 내 말라리아 전파가 일어났을 것으로 판단하였다.

2. 분석 자료

기후 자료는 2001년~2010년까지의 평균기온과 강수량의 일 자료를 이용하였고, 일반적으로 6~9월에 말라리아 환자가 주로 분포하고 있는 것을 반영하여 6월~9월의 평균기온, 강수량 자료를 사용하였다. 말라리아 발생 자료는 질병관리본부 웹통계서비스(<http://stat.cdc.go.kr>)를 통해 수집하였다. 분석을 위한 말라리아 발생률 또한 해당 연도의 6~9월의 발생건수만을 활용하였다. 통상 말라리아 발생률은 해당 행정구역 내 인구 10만 명 당 발생건수로서 상대적인 위험도를 설명하기 위해 사용된다.

토지이용 분석을 위해 환경부 공간정보서비스(<http://egis.me.go.kr>)가 제공하는 토지피복도를 사용하였다. 토지피복도는 래스터 형식의 중분류자료를 사용하였는데, 이는 Landsat,

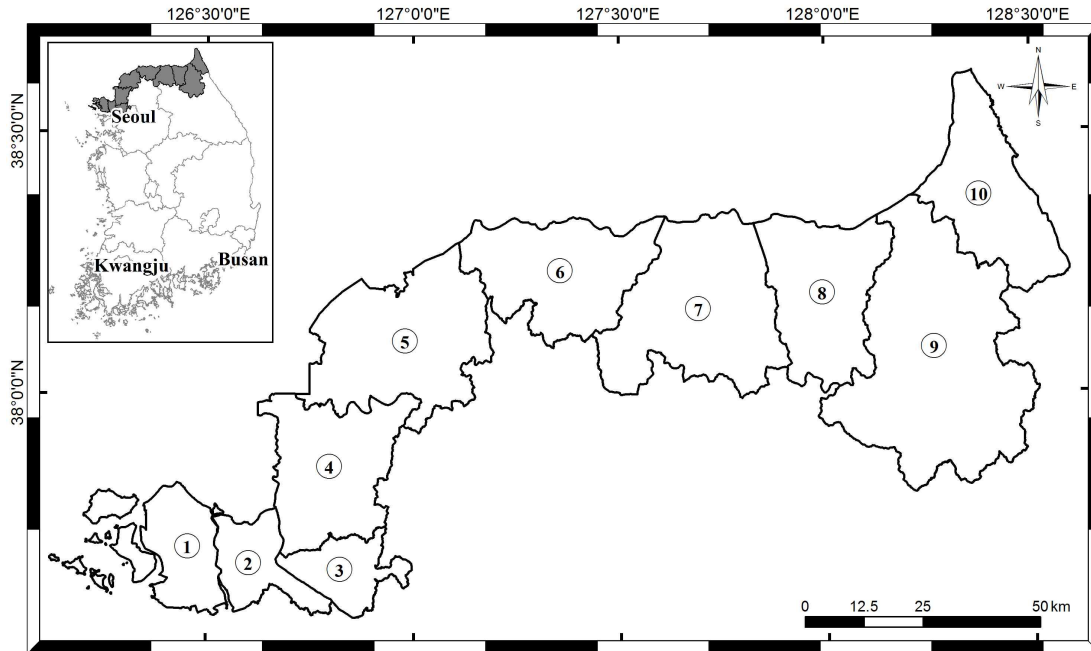


FIGURE 2. Study area

- ① Ganghwa County ② Kimpo County ③ Goyang City ④ Paju County ⑤ Yeoncheon County
 ⑥ Cheolwon County ⑦ Hwacheon County ⑧ Yanggu County ⑨ Inje County ⑩ Goseong County

Indian Remote Sensing, SPOT, 아리랑 2호 위성 자료를 기반으로 하여 Transverse Mercator 중부원점 좌표계를 갖는 5m 공간해상도로 작성되었다. 토지피복도 중분류 자료는 모두 22개 분류 항목으로 구성되어 있고, 전국을 1:25,000 도곽 단위의 813 도엽으로 나누어 구축되어 있다. 연구 지역에 속하는 자료처리를 위해 이미지 처리 소프트웨어 프로그램인 ERDAS IMAGINE 9.1를 활용하였고, 분석 결과를 지도화하기 위해 지리정보시스템 소프트웨어 프로그램인 ArcGIS 9.3을 사용하였다.

3. 상관관계 분석

1) 기후 조건과 말라리아 발생률과의 상관관계
 연구 대상 지역의 발생률이 차이를 보이는 것에 대해서 우선 매개모기의 개체 수에 직접적으로 영향을 미치는 기후 요소와의 상관관계

를 분석하였다. 이를 위해 기후 조건이 발생률에 미치는 영향을 분석하기 위해 기상청에서 제공받은 대상 지역 내 측후소의 기온, 강수량 자료를 이용하여 말라리아 발생률과의 회귀분석을 실시하였다. 대상 지역 내 측후소는 철원, 문산, 강화, 고성으로 4개이며, 각각 철원, 파주, 강화, 고성의 말라리아 발생률과의 상관관계를 분석하였다.

2) 매개모기의 산란 및 서식환경과 말라리아 발생률과의 상관관계

두 번째로 지역별로 다른 매개모기의 서식환경 비중과 발생률과의 상관관계를 분석하였다. 연구 지역 내에서 매개모기의 서식환경으로 양호하다고 평가되는 논, 내륙습지, 연안습지, 내륙수, 해양수의 면적을 추출하기 위해 환경부에서 제공받은 토지피복도를 입력 자료로 하여 시·군·구별 면적을 계산하였다(표 1). 이들

TABLE 1. Area of water-related features malaria cases (unit : ha)

	Ganghwa	Goyang	Paju	Kimpo	Yeoncheon	Cheolwon	Hwacheon	Yanggu	Inje	Goseong
rice paddy	15,625	5,375	14,425	9,250	8,750	14,950	3,375	4,700	1,650	4,525
inland wetland	0	350	950	600	600	650	225	100	800	275
coastal wetland	2,450	0	25	175	0	0	0	0	0	0
inland water	1,100	1,975	4,025	2,000	1,075	1,375	3,200	1,625	2,450	850
sea water	2,675	0	0	1,450	0	0	0	0	0	1,100
incidence rate	338.5	6.3	80.3	83.5	348.7	141.3	52.3	28.0	9.4	19.7

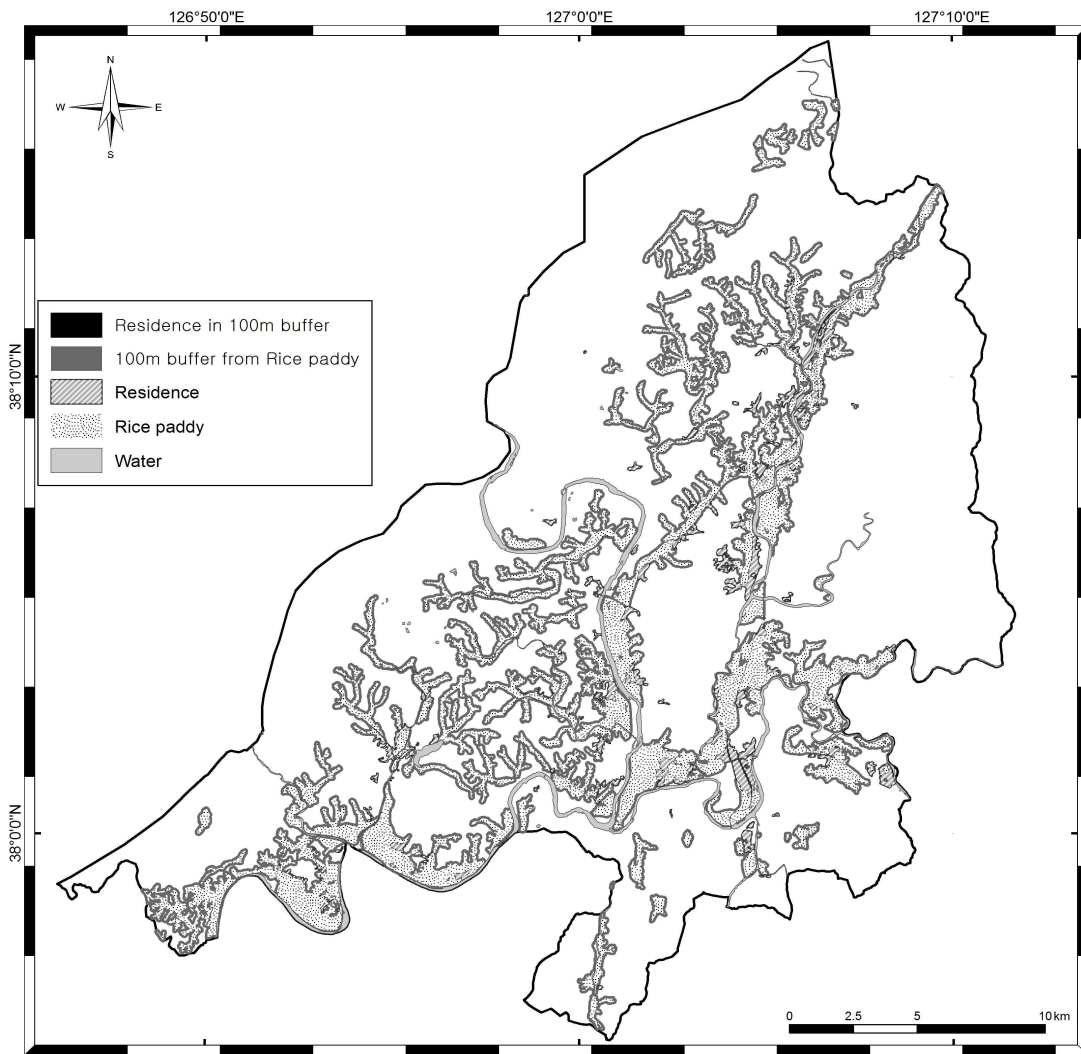


FIGURE 3. A case of Yeoncheon County. Residential areas are buffered from rice paddies by four difference distance measures

변수는 매개모기의 산란 및 서식환경에 유리하다고 판단되는 것으로 각각의 변수를 말라리아 발생률과 상관관계 분석을 하였다. 상관계수를 설정함에 있어 케이스의 수가 적어서 그 결과의 설득력이 부족할 수 있다는 점을 보완하기 위해 spearman의 순위상관계수를 사용하였다.

3) 주거지 분포에 따른 말라리아 발생률

세 번째로 매개모기와 주거지 간의 거리를 계산하여 발생률과 상관관계를 분석하였다. 이는 각각의 연구 지역 내의 논에 버퍼를 설정하고 전체 주거 지역 대비 버퍼 내 주거지역의 비중을 토대로 하였다. 세 번째 분석에 있어서는 절대적인 발생건수가 부족한 4개 지역(인제군, 화천군, 양구군, 고성군)을 제외하고 나머지 6개 지역(강화군, 고양시, 김포시, 연천군, 파주시, 철원군)만을 분석에 사용하였다. 분석에 사용된 거리변수는 매개모기와 인간과의 거리를 추정하기 위해 대상지역별로 매개모기의 산란 및 서식환경으로 가장 양호하다고 판단되는 논에 버퍼를 각각 50m, 100m, 150m, 200m로 설정하고 전체 주거 지역 대비 버퍼 내에 포함되는 주거 지역의 면적으로 산정하였다. 계산된 결과를 기초로 말라리아 발생률과의 상관관계를 분석하였다(그림 3).

연구 결과

1. 기후 조건과 말라리아 발생률과의 상관관계

지역별 기후 조건과 말라리아 발생률과의 상관관계를 확인하기 위해 회귀분석 한 결과, 결정계수(R²) 값이 철원 0.005, 파주 0.031, 강화 0.414, 고성 0.021로 나왔다. 이는 강화군을 제외하고는 기후 조건의 변화가 실질적인 발생률 변화에 의미 있는 영향을 미치지 못하

는 것으로 보인다. 계절적인 변화에 따라 온도가 상승하고 강수량이 증가하면서 매개모기의 개체 수가 증가하고 발생률 또한 상승하는 것이 사실이지만, 연도별로 분석해본 결과 말라리아 발생에 유리한 온도와 강수량 범위를 설정하는 것이 어려웠고, 연구 대상 지역이 비슷한 위도에 위치하고 있어서 지역별 발생률의 변이를 설명하는 데에 있어서 한계가 있었다. 이에 따라 지역별 말라리아 발생률의 차이를 설명하기 위해 기후 조건 이외에 다른 환경요인을 고려했다.

2. 매개모기의 산란 및 서식환경과 말라리아 발생률과의 상관관계

10개 대상지역의 물과 관련된 환경과 말라리아 발생률과의 상관관계를 분석했다. 그 결과, 논 면적의 비중과 발생률 간의 상관관계가 0.709로 유의하게 나타났다(표 2). 이것은 논 면적이 많을수록 발생률이 높아진다고 해석할 수 있으며, 실제로 지난 10년 동안 발생의 핫스팟이 논 면적이 많은 경기 서북부로 이동한 것을 설명할 수 있는 결과이다.

3. 매개모기의 산란 및 서식환경과 인간의 분포와 말라리아 발생률과의 상관관계

말라리아 발생률에 가장 큰 영향을 미치는 환경으로 나타난 논 주변의 인구 분포와 지역별 말라리아 발생률 간의 상관관계를 분석하기 위해 논 주변의 버퍼를 설정하였다(표 3). 논으로부터의 거리를 50미터 간격으로 버퍼링하여 버퍼 내부에 속하는 주거지 면적을 산출한 결과, 그림 4와 같이 논으로부터의 거리가 멀어질수록 말라리아 발생률과의 상관도가 낮아졌다. 이는 물과 관련된 환경에서 가까운 곳에 있는

TABLE 2. Correlation coefficients between malaria incidence rates and area of water-related features(*significance, P<0.05)

	inland wetland	coastal wetland	rice paddy	inland eater	sea water
Spearman' s rho	-0.012	0.455	0.709*	-0.297	0.276

TABLE 3. Residential area within buffers from rice paddies

(unit: m, ha, %)

		Ganghwa	Goyang	Paju	Kimpo	Yeoncheon	Cheolwon
distance	residential area	3,178.0	3,634.1	4,621.4	4,279.4	1,247.6	1,426.2
	≤ 50						
	area**	1,142.3	396.6	1,199.4	880.1	349.7	467.3
	%***	36	10.9	26	20.6	28.0	32.8
	50-100						
	area	733.8	375	886.7	741.6	260	302.7
	%	23.1	10.3	19.2	17.3	20.8	21.2
	100-150						
	area	436.2	303.6	649.2	602.6	176.3	196
	%	13.7	8.4	14.0	14.1	14.1	13.7
	150-200						
	area	281.3	303.6	649.2	602.6	176.3	196
	%	8.9	6.9	9.8	11.1	9.5	8.9
	incidence rate	338.5	6.3	80.3	83.5	348.7	141.3

** residential area within buffer, *** % residential area within buffer

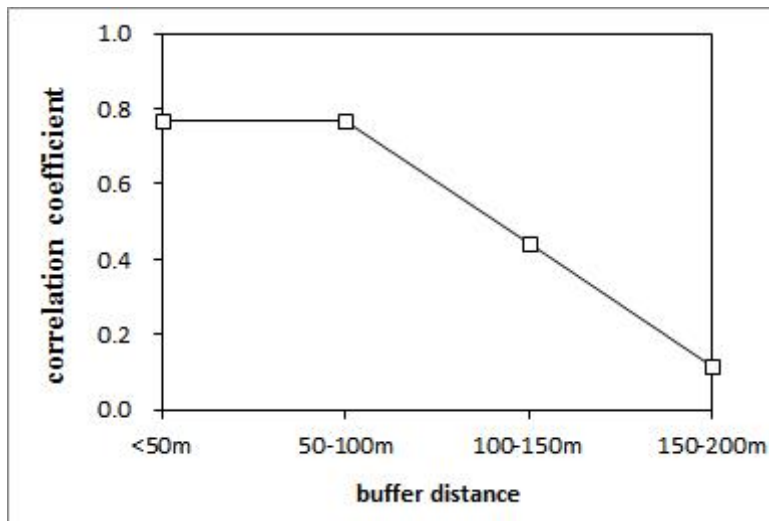


FIGURE 4. Relationships between percent residential area with buffer distance from rice paddies

가구의 발생 건수가 많다는 기존의 연구와 부합하는 결과이다. 즉, 말라리아 발생 사례수의 74.3%가 수변환경으로부터의 거리가 60미터 이하에서 나타났고, 16.3%가 60~120미터 범위에서, 그리고 120미터 이상에서는 발생 건수의 9.4%에 불과하였다(Zhou *et al.*, 2012). 본 연구에서는 논으로부터의 버퍼 거리를 50미터 단위로 설정했기 때문에 이와 같은 사례연구와 직접적으로 비교할 수는 없지만, 전체적인

거리조락(距離凋落) 효과를 살펴볼 때, 버퍼 거리 100~150미터 구간에서 말라리아 발생 건수와 상관도가 빠르게 감소하는 것은 말라리아 발생 건수의 90% 이상이 물 환경으로부터 120미터 이하거리에 집중된 Zhou *et al.*(2012)의 연구 결과와 매우 흡사한 것으로 판단된다. 전체적으로, 말라리아 감염자의 수는 전체 행정단위 거주자 수에 비해 매우 작은 비율로 나타나기 때문에, 말라리아 발병률은 각

시군별 인구규모($r=-0.914$, $p<0.01$)나 인구 밀도($r=-0.886$, $p<0.01$)와 반비례하는 결과를 보였다. 이러한 경향은 주거지면적이 넓을수록($r=-0.771$, $p<0.05$), 또 주거지인구밀도가 높을수록($r=-0.829$, $p<0.05$) 발병률이 낮게 나타난 결과와 잘 부합한다. 본 연구에서는, 개별 말라리아 감염사례의 구체적 지리정보를 반영되지 않아 각 버퍼 거리에 따른 말라리아 발병수 변화를 정량적으로 분석할 수 없는 한계를 노정하고 있지만, 군 단위로 수집된 말라리아 발병율에 매개모기의 주요 서식처인 논 환경의 영향이 공간적으로 나타남을 확인했다는 데에 의미가 있다.

결론

말라리아는 매개모기에 의해 병원체가 전달되는 것으로 이 과정은 특정 생태학적 시스템 속에서 발현된다. 기후요소는 매개모기와 병원체에 매우 다양하게 영향을 미치며 기온은 가장 대표적인 환경요인이다. 기온의 변화는 매개모기의 개체수를 변화시킬 뿐만 아니라 인간과의 접촉 빈도와 흡혈 빈도에도 직접적으로 영향을 준다. 이는 다시 매개모기의 생존율에 영향을 주어 전체적으로 개체수의 계절적 변화를 가져온다. 또한 강수량이 증가할 경우 매개모기 유충의 서식처가 증가하면서 매개체 수에 영향을 미치게 된다. 반면에 가뭄이 들거나 폭염일이 발생하면 유충이 말라죽으며 폭우가 내리면 유충의 서식처가 쓸려 내려가 매개모기의 개체수가 감소하여 결과적으로 발생률 또한 감소할 수 있다.

이와 같이 기온과 강수량과 같은 기후요소가 매개모기의 개체 수에 결정적인 영향을 미치는 환경요인이기는 하나 복잡하게 전개되는 질병의 공간적 특수성을 고려해야만 한다. 또한 질병 발생 및 전파에 미치는 기후변화의 영향은 복잡하고 불확실성을 동반하는 문제이기에 효과적인 보건관리에 어려움이 있다(Wilcox and Cowell, 2005). 실제로 말라리아 발생률이 가장 높은 해의 각 시·군·구별 기온과 강수량

은 경향성을 띠기보다는 그 범위가 크게 형성되는데 이는 해당 지역의 토지이용과 토지피복의 공간적인 특성이 말라리아 매개모기 산란처 및 서식처의 개수나 면적에 영향을 미치기 때문이다. 구체적인 예로 관개시설의 정비가 이루어지는 지역의 경우, 혹은 개발이 활발히 이루어지고 있는 지역의 경우 땅에 일시적인 굴곡이 생겨서 강수가 발생하였을 때 물웅덩이가 쉽게 생길 수 있다. 이러한 국지적인 서식환경의 발생은 이상적인 기후조건과 모기 매개체의 서식처 발생 수, 면적과 그에 따른 모기 매개체의 밀도를 정확하게 예측하는 것을 어렵게 한다.


물론 지구온난화로 대표되는 기후변화에 따라 기온이 상승하면 모기와 기생충의 성장주기가 짧아지고 활동량이 증가하며 세대의 수도 증가하여 말라리아 감염 발생건수도 증가하고 전파범위가 확대될 것으로 예상된다. 그러나 기후변화의 영향은 광범위하게 작용하고 있고, 기후변화 시나리오는 대기대순환이나 엘니뇨와 같은 스케일에서 해석되는 반면, 말라리아 감염의 메커니즘은 국지적인 서식환경의 분포, 인구의 분포에 따라 달라지기 때문에, 오히려 국지적인 기상현상에 영향을 미치는 토지이용의 변화나 경관구조 측면에서 해석되는 것이 바람직할 것으로 보인다.

더욱이 본 연구에서 사용한 기후 자료는 4개의 측후소에서 얻은 자료로써 지리적으로 현저히 소규모 수준에서 발생하는 질병 분포의 특성을 설명하기에는 한계가 있다. 한나절 기온 상승으로도 급속한 증가를 보이는 질병의 특성을 반영할 수 있는 국지적이고 일시적으로 형성되는 기상변화 자료를 얻는 것 또한 현실적으로 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 휴전선과 인접해 있는 시·군·구지역의 경관 특성을 분석하는 데 더욱 초점을 두었다. 휴전선 부근 남한 지역의 지역 내 전파나 확산 측면에서 지역적으로 경관이 다르게 펼쳐짐에 따라 매개모기가 산란하고 서식하기 좋은 환경이 다르게 되며, 또한 매개모기가 전파되고 확산되는 경관 구조나 통로가 다르게 형성될 수 있다. 경관의

형태와 구조가 다르다는 것은 인간의 분포가 지역별로 다르다는 것이며 이는 매개모기와 인간과의 거리가 지역별로 다른 결과를 초래하여 곧 실질적인 발생률을 설명하는 요인이 된다.

지역 내 전파와 확산을 관찰하기 위해 토지 이용의 생태적인 맥락을 더욱 고려할 수 있는 지표가 필요하며 수치고도모델을 활용한다면 전파의 장벽에 대한 연구로의 확장도 가능할 것이다. 또한 지속적으로 시계열적인 발생률 자료를 수집하여 토지 이용의 변화에 따라 말라리아 발생률이 어떻게 변화하는지에 대한 연구도 필요하다. 분석 단위가 시·군·구에 머물고 있는 것은, 말라리아 발생 환자는 주민등록상에 표기된 주소로 집계되지만 주민등록상에 표기된 주소가 행정동과 일치하지 않는 문제로 인해 읍·면·동 단위로 공간 분석을 하는 데에 한계가 있기 때문에, 향후 원시 자료 수집에 있어 보완이 있어야 할 것으로 보인다.

감사의 글

논문 원고의 수정과 지도 및 표 자료의 편집 작업을 맡아 수고한 부산대학교 대학원 사회교육학과 지리교육학 전공 탁한명에게 감사드린다. 

참고문헌

- Ahn, M. and D. Min. 1999. Reemergence of malaria in south korea. *Hanyang Medical Reviews* 19(1):33-38 (안명희, 민득영. 1999. 우리나라에서 말라리아의 재출현. *한양의대학술지* 19(1):33-38).
- Bayoh, M. and S. Lindsay. 2003. Effect of temperature on the development of the aquatic stages of *Anopheles gambiae sensu stricto* (Diptera: Culicidae). *Bulletin of Entomological Research* 93(5):375-382.
- Beck, L.R., B.M. Lobitz, and B.L. Wood. 2000. Remote sensing and human health: new sensors and new opportunities. *Emerging Infectious Diseases* 6(3):217-227.
- Brisbois, B.W. and S.H. Ali. 2010. Climate change, vector-borne disease and interdisciplinary research: social science perspectives on an environment and health controversy. *EcoHealth* 7(4):425-438.
- Brownstein, J.B., T.R. Holford and D. Fish. 2003. A climate-based model predicts the spatial distribution of the lyme disease vector *Ixodes scapularis* in the United States. *Environmental Health Perspective* 111(9):1152-1157.
- Clennon, J. 2004. Spatial patterns of urinary schistosomiasis infection in a highly endemic area of coastal Kenya. *American Journal of Tropical Medicine Hygiene* 70(4):443-448.
- Cromley, E.K. and S.L. McLafferty. 2002. *GIS and Public Health*. The Guildford Press, New York.
- Diuk-Wasser, M.A., H.E. Brown, T.G. Andreadis and D. Fish. 2006. Modeling the spatial distribution of mosquito vectors for West Nile Virus in Connecticut, USA. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 6(3):283-295.
- Guerra, C.A., P.W. Gikandi, A.J. Tatem, A.M. Noor, D.L. Smith, S.I. Hay and R.W. Snow. 2008. The limits and intensity of *Plasmodium falciparum* transmission: implications for malaria control and elimination worldwide. *PLoS Medicine* 5(2):300-311.
- Hay, S.I., R.W. Snow and D.J. Rogers.

1998. Predicting malaria seasons in Kenya using multitemporal meteorological satellite sensor data. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 92(1):12-20.
- Korean Center for Disease Control and Prevention. 2008. *Malaria Control Manual*, pp.59 (질병관리본부. 2008. 말라리아 관리 지침. 59쪽).
- Korean Center for Disease Control and Prevention. Disease Web Statistics System. <http://stat.cdc.go.kr>. [accessed on March 2012] (질병관리본부. 웹통계서비스. <http://stat.cdc.go.kr>. 2012년 3월 접속).
- Machault, V., C. Vignolles, F. Borchi, P. Vounatsou, S. Briolant, J.P. Lacaux, and C. Rogier, 2011. The use of remotely sensed environmental data in the study of malaria. *Geospatial Health* 5(2):151-168.
- Ministry of Environment. Environmental Geographic Information System Service. <http://egis.me.go.kr>. [accessed on September 2012] (환경부. 공간정보서비스. <http://egis.me.go.kr>. 2012년 9월 접속).
- Nicholas, M.C. and T.N. Mather. 1996. Methods for evaluating lyme disease ticks using geographic information systems and geospatial analysis. *Journal of Medical Entomology* 33(5):7111-720.
- Norris, D.E. 2004. Mosquito-borne diseases as a consequence of land use change. *EcoHealth* 1(1):19-24.
- Ostfeld, R.S. and F. Keesing. 2001. Biodiversity and disease risk: the case of lyme disease. *Conservation Biology* 14(3):722-728.
- Park, J.W., G. Jun and J.S. Yeom. 2009. Plasmodium vivax malaria: status in the Republic of Korea following reemergence. *Korean Journal of Parasitology* 47 (Supplement):S39-S50.
- Park, J.W., T.A. Klein, H.C. Lee, L.A. Pacha, S.H. Ryu, J.S. Yeom, S.H. Moon, T.S. Kim, J.Y. Chai, M.D. Oh and K.W. Choe. 2003. Vivax malaria: a continuing health threat to the Republic of Korea, *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 69(2):159-167.
- Park, S. 2012. Remote sensing applications for malaria research: emerging agenda of medical geography. *Journal of the Korean Association of Regional Geography* 18(4):473-493 (박선엽. 2012. 원격탐사 자료를 이용한 말라리아 연구: 보건지리학적 과제와 전망. *한국지역지리학회지* 18(4):473-493).
- Park, S. and D. Han. 2012. Reviews in medical geography: spatial epidemiology of vector-borne diseases. *Journal of Korean Geographical Society* 47(5):677-699 (박선엽, 한대권. 2012. 벡터매개 질병 공간역학을 중심으로 한 보건지리학의 최근 연구. *대한지리학회지* 47(5):677-699).
- Reisen, W.K. 2010. Landscape epidemiology of vector-borne diseases. *Annual Review of Entomology* 55:461-483.
- Shin, H. 2011. Malaria prevalence rate and weather factors in Korea. *Health and Social Welfare Review* 31(1):217-237 (신호성. 2011. 기상요소와 지역 말라리아 발생자수의 상관관계. *보건사회연구* 31(1):217-237).
- Smith, T., J.D. Charlwood, J. Kihonda, S.

- Mwankuyse, P. Billingsley, J. Meuwissen, E. Lyimo, W. Takken, T. Teuscher and M. Tanner. 1993. Absence of seasonal variation in malaria parasitaemia in an area of intense seasonal transmission. *Acta Tropica* 54(1):55–72.
- Snow, R.W., J.R.M. Armstrong–Schellenberg, I. Mwangi, C. Waruiru, P.A. Warn, C. Newbold and K. Marsh. 1993. Periodicity and space–time clustering of severe childhood malaria on the coast of Kenya. *Transaction of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 87(4):386–390.
- Waring, S.A., R. Zakos–Feliberti, W.M. Stone, P. Padgett and R. Ararat. 2005. The utility of geographic information systems (GIS) in rapid epidemiological assessments following weather–related disasters: methodological issues based on the tropical storm Allison experience. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 208(1–2):109–116.
- Wilcox, B.A. and R.R. Colwell, 2005. Emerging and reemerging infectious diseases: biocomplexity as an interdisciplinary paradigm. *EcoHealth* 2(4):244–257.
- Yeom, J.S., T.S. Kim, S. Oh, J.B. Sim, J.S. Barn, H.J. Kim, Y.A. Kim, S.Y. Ahn, M.Y. Shin and J.A. Yoo. 2007. *Plasmodium vivax* malaria in the Republic of Korea during 2004–2005: changing patterns of infection. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 76(5):865–868.
- Zhou, S., S. Zhang, J. Wang and X. Zheng. 2012. Spatial correlation between malaria cases and water–bodies in *Anopheles sinensis* dominated areas of Huang–Huai plain, China. *Parasites and Vectors* 5(1):106. **KAGIS**