creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

도시계획학 석사학위논문

사하라 이남 아프리카 아동의 말라리아 감염과 정주환경의 관계

- 정주지의 도시성을 중심으로 -

2022년 2월

서울대학교 대학원

환경계획학과 도시사회혁신전공

손 휘 주

사하라 이남 아프리카 아동의 말라리아 감염과 정주환경의 관계

– 정주지의 도시성을 중심으로 –

지도교수 김 부 열

이 논문을 도시계획학 석사학위논문으로 제출함

2021년 12월

서울대학교 환경대학원

환경계획학과 도시사회혁신전공

손 휘 주

손휘주의 도시계획학 석사학위논문을 인준함

2022년 2월

위 원 장 _____ 박 인 권 _____ (인)

부위원장 _____ 송 재 민 _____ (인)

위 원 _____ 김 부 열 _____ (인)

국문 초록

사하라 이남 아프리카에서 말라리아는 아동 사망의 주요 원인이자 지속가능한 발전을 가로막는 난제이다. 아프리카의 말라리아 문제에서 주목할 점은 정주환경의 도시성과 관련된 말라리아 유병률의 공간적 격차가 지속된다는 사실이다. 도시성과 말라리아의 관계에 관한 연구는 지속되어 왔으나, 선행 연구는 도시성을 도시-농촌이라는 이분법적 개념으로 단순화하거나 특정 국가 및 지역에 한정하여 도시성 효과를 분석하였다는 한계를 지닌다. 도시성을 다면적으로 측정하여 다수의 국가를 대상으로 말라리아에 미치는 도시성의 효과를 분석한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구의 목적은 다면적 도시성 변수를 개발하고, 사하라 이남 아프리카에서 정주지의 도시성이 아동의 말라리아 감염 및 커뮤니티 유병률에 미치는 효과를 실증하는 것이다. 이를 위해, 커뮤니티의 정주환경 특성을 종합하여 도시성을 다면적으로 측정하고 정주지 유형을 6가지(주요 도시, 일반 도시, 도시 슬럼, 타운, 일반 농촌, 원격 농촌)로 구분하였다. 또한, 공간 스케일에 따라 다르게 나타나는 도시성의 효과를 규명하고자 하였다.

연구의 공간적 범위는 사하라 이남 아프리카 20개국이며, 시간적 범위는 2012년부터 2019년이다. 주요 분석 자료로 인구보건조사(DHS), 말라리아 아틀라스 프로젝트(MAP) 자료, 글로벌 인간 정주 레이어(GHSL)를 활용하였다. 실증 분석은 두 단계로 이루어진다. 분석 1단계에서는 아동 말라리아 감염에 미치는 도시성 효과를 분석하기 위해 다수준 로지스틱 회귀모형과 메타분석을 활용하였다. 분석 2단계에서는 커뮤니티의 말라리아 유병률에 미치는 도시성의 공간적 효과를 분석하기 위해 공간회귀분석과 지리가중회귀분석을 활용하

였다. 주요 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 도시성이 높은 정주지일수록 아동이 말라리아에 감염될 확률이 낮아졌다. 도시 지역 중에는 도시 슬럼에서, 농촌 지역 중에는 원격 농촌에서 감염 확률이 높았다. 다만, 말라리아 감염 확률을 낮추는 도시성 효과의 크기는 거시지역 및 국가별로 이질적인 것으로 나타났다.

둘째, 인접 커뮤니티의 도시성이 높을수록 특정 커뮤니티의 말라리아 유병률이 낮아지는 파급효과가 존재했다. 인접 커뮤니티의 말라리아 유병률이 높으면 특정 커뮤니티의 말라리아 유병률이 높아지는 말라리아의 전염성도 확인되었다. 한편, 도시성이 말라리아 유병률에 미치는 국지적 효과는 커뮤니티에 따라 달랐는데, 많은 커뮤니티에서 도시성이 말라리아 유병률을 감소시키는 것으로 나타났지만 그 효과의 크기는 이질적이었다. 일부 커뮤니티에서는 도시성이 오히려 유병률을 높이거나 유의한 효과가 없는 것으로 나타났다.

이러한 연구 결과는 말라리아 문제 해결에 다음과 같은 시사점을 제시한다. 첫째, 아프리카에서 말라리아 예방 및 통제 프로그램을 시행할 때 도시성 효과가 낮은 지역을 우선적 대상으로 고려할 필요가 있다. 특히, 말라리아 감염 위험이 큰 것으로 확인된 도시 슬럼과 원격 농촌에 대한 관심이 요구된다. 다만, 도시성이 말라리아 감염에 미치는 효과의 정도가 국가에 따라 달라진다는 점에서, 국가별 정주환경 특성과 말라리아 감염 현황을 추가적으로 고려한 후에 프로그램의 대상지를 선정해야 한다.

둘째, 한 커뮤니티의 도시성과 말라리아 유병률이 다른 커뮤니티에 영향을 주는 공간적 파급효과가 있다는 사실은 말라리아 프로그램의 공간적 범위를 설정할 때 해당 지역만이 아니라 인접한 지역의 특성까지 함께 고려해야 한다는 것을 시사한다. 유병률이 높거나 도시성이 낮은 커뮤니티에 인접한 지역에서 프로그램을 추진할 때는, 프로그램의 범위가 이들 커뮤니티를 포괄하

도록 설정되어야 한다. 한편, 일부 지역은 도시 지역임에도 불구하고 도시성의 효과가 없거나 도시성이 유병률을 높이기도 하였는데, 이러한 분석 결과는 도시 지역 내 유병률이 높은 커뮤니티에 대하여 지속적으로 말라리아 프로그램을 추진해야 할 실증적 근거가 될 수 있다.

이처럼 본 연구는 정주환경의 도시성을 다면적으로 측정하여 정주지 유형을 세분한 뒤, 도시성이 말라리아 감염 및 유병률에 미치는 효과를 실증하고 정주지 유형 간 말라리아 문제의 격차를 보여주었다는 점에서 학술적 의의를 지닌다. 또한, 말라리아 프로그램의 대상지 및 공간 범위를 설정할 때 정주환경을 고려하여 수립되어야 함을 뒷받침하는 객관적 근거를 제시하였다는 데 연구의 실천적 의의가 있다.

주요어 : 사하라 이남 아프리카, 말라리아, 정주환경, 도시성, 보건지리

학 번 : 2019-24292

목 차

제1장 서론 ····· 1

1. 연구 배경 및 목적 ····· 1
2. 연구 범위 및 방법 ····· 3
   1) 연구 대상 및 범위 ····· 3
   2) 연구 방법 ····· 4
3. 연구 구성 ····· 5

제2장 이론 및 문헌 고찰 ····· 6

1. 말라리아의 보건지리 ····· 6
   1) 말라리아 역학과 프로그램 ····· 6
   2) 말라리아 영향 요인과 지리 ····· 9
2. 정주환경의 도시성과 보건 ····· 12
   1) 정주환경의 도시성과 정주지 유형 ····· 12
   2) 도시성 측정 및 정주지 유형 구분 ····· 15
3. 선행연구 검토 및 연구 차별성 ····· 18
   1) 말라리아와 도시성에 관한 연구 ····· 18
   2) 연구 차별성 ····· 21

제3장 자료 및 분석 방법 ····· 23

1. 분석 자료 및 범위 ····· 23
2. 연구 질문 및 분석 방법 ····· 26

3. 말라리아 감염 및 유병률 ····· 29
4. 정주지의 도시성 ····· 31
1) 도시성 측정 및 정주지 유형 구분 ····· 32
2) 변수 설정 결과 및 평가 ····· 39
5. 윤리적 고려 ····· 43

제4장 말라리아 감염에 미치는 도시성 효과 ····· 44

1. 분석 모형 ····· 44
1) 다수준 로지스틱 회귀분석 ····· 45
2) 메타분석 ····· 46
2. 분석 자료 ····· 48
3. 분석 결과 ····· 51
1) 말라리아 감염과 정주지 유형의 관계 ····· 51
2) 국가 및 거시지역별 말라리아 감염과 정주지 유형의 관계 ····· 54

제5장 말라리아 유병률에 미치는 도시성의 공간적 효과 ····· 59

1. 분석 모형 ····· 59
1) 공간회귀분석 ····· 60
2) 지리가중회귀분석 ····· 63
2. 분석 자료 ····· 64
3. 분석 결과 ····· 66
1) 도시성의 파급효과 ····· 66
2) 도시성의 국지적 효과 ····· 69

제6장 결론 ····· 74

1. 연구의 요약 및 시사점 ····· 74
2. 연구의 의의 및 한계 ····· 76

부록 ····· 77

참고문헌 ····· 83

Abstract ····· 110

표 목차

[표 1] 말라리아 영향 요인 11
[표 2] 말라리아와 도시성에 관한 선행연구 20
[표 3] 분석 대상 국가 및 DHS 자료 특성 25
[표 4] 연구 분석틀 28
[표 5] 아동 말라리아 감염 및 유병률 기술통계 29
[표 6] 정주지 유형 용어 및 자료 31
[표 7] 슬럼 가구 지표 35
[표 8] 농촌 지역 커뮤니티의 다면적 도시성 측정 요소 37
[표 9] 정주지 유형 기술통계 39
[표 10] 정주지 유형별 정주환경 특성 42
[표 11] 분석 1단계 설명변수 기술통계 50
[표 12] 다수준 로지스틱 회귀분석 결과 52
[표 13] 분석 2단계 설명변수 기술통계 64
[표 14] 거시지역별 공간회귀분석 결과 67
[표 15] 거시지역별 지리가중회귀분석 결과 70
[표 16] 지리가중회귀분석 결과(사하라 이남 아프리카) 72
[부록 표 1] 개인, 부모, 가구 수준의 말라리아 감염 요인 77
[부록 표 2] 커뮤니티, 지역 수준의 말라리아 감염 요인 78
[부록 표 3] 도시 및 도시 인접 지역의 말라리아 감염 요인 79
[부록 표 4] 국가별 아동 말라리아 감염 및 유병률 기술통계 80
[부록 표 5] 국가별 정주지 유형 비율 81

그림 목차

[그림 1] 연구 흐름도 5
[그림 2] 커뮤니티별 말라리아 유병률 지도 30
[그림 3] 정주지 유형 구분 절차 32
[그림 4] 농촌 지역 커뮤니티의 다면적 도시성과 백분위 순위 37
[그림 5] 사하라 이남 아프리카의 정주지 유형 지도 41
[그림 6] 정주지 유형별 말라리아 감염 비율 49
[그림 7] 주요 도시 메타분석 결과 55
[그림 8] 일반 도시 메타분석 결과 56
[그림 9] 도시 슬럼 메타분석 결과 56
[그림 10] 타운 메타분석 결과 57
[그림 11] 일반 농촌 메타분석 결과 57
[그림 12] 거시지역별 말라리아 감염과 정주지 유형의 관계 58
[그림 13] 정주지 유형별 말라리아 유병률 65
[그림 14] 거시지역별 도시성의 국지적 효과 71
[그림 15] 사하라 이남 아프리카의 도시성의 국지적 효과 73
[부록 그림 1] 거시지역별 도시성의 국지적 효과(전체 표본) 82

제1장 서론

1. 연구 배경 및 목적

사하라 이남 아프리카에서 말라리아는 아동 사망의 주요 원인이자 지속가능한 발전을 가로막는 난제이다(Mbacham et al., 2019; WHO, 2021a). 2000년대부터 유엔(United Nations, UN)과 국제사회가 말라리아 문제를 해결해야 할 주요 과제로 다루고 이를 예방 및 통제하기 위한 프로그램을 실행하면서 전세계 감염자 수는 감소했지만(UN, 2016), 사하라 이남 아프리카에서는 여전히 많은 아동이 말라리아에 감염되고 있다(Weiss et al., 2019; WHO, 2021b). 2020년 세계 말라리아 감염의 95%, 말라리아로 인한 사망의 96%가 아프리카에서 발생했으며 아프리카 내 사망자의 80%가 5세 미만 아동이었다(WHO, 2021b).[1]

아프리카의 말라리아 문제에서 주목할 점은 정주환경의 도시성(urbanicity)과 관련된 공간적 격차이다(Doumbe-Belisse et al., 2021; Kabaria et al., 2017; Pond, 2013; Weiss et al., 2019). 말라리아 감염에 영향을 미치는 요인에는 여러 사회경제 및 지리 특성이 있는데 이러한 특성은 정주환경의 도시성에 따라 큰 차이를 보인다(Bannister-Tyrrell et al., 2017; Carrasco-Escobar et al., 2021; Kienberger & Hagenlocher, 2014). 아프리카 국가들이 지난 20년간 급격한 도시화와 정주환경 변화를 경험하면서, 많은 연구가 도시성과 관련된 말라리아 역학 변화와 정주지 유형에 따른 유병률의 격차를 분석해왔다(Doumbe-

[1] 2020년 기준 말라리아 감염이 발생한 85개국(malaria endemic countries)의 말라리아 감염자는 241백만 명, 말라리아로 인한 사망자는 63만 명이었다(WHO, 2021b). '아프리카'는 세계보건기구(WHO)가 정의한 아프리카 지역(WHO African region) 47개 국가를 의미한다.

Belisse et al., 2021; Kabaria et al., 2017; Qi et al., 2012; Tatem et al., 2008).

이처럼 말라리아와 도시성의 관계에 관한 논의가 활발하게 진행되어 왔으나 다수의 연구가 도시-농촌 이분법으로 정주지 유형을 단순화하거나 단일 자료를 활용하여 도시성 변수를 구축하였다(Kabaria et al., 2017; Qi et al., 2012; Tatem et al., 2008). 최근의 연구는 도시-농촌 연속체의 관점에서 도시성을 파악하거나 정주환경의 여러 특성을 종합하여 도시성 변수를 설정하였지만, 특정 국가 및 지역을 대상으로 하여 국가 간 비교 분석이 어렵다는 한계를 지닌다(Frank et al., 2016; Kigozi et al., 2015; Larson et al., 2021). 즉, 도시성을 다면적으로 측정하여 정주지 유형을 세분하고, 여러 국가를 대상으로 다양한 공간적 범위에서 도시성의 효과를 비교 분석한 연구는 부족하다.

이러한 배경에서 본 연구는 사하라 이남 아프리카 20개국을 대상으로 커뮤니티의 도시성 변수를 개발하고, 도시성이 말라리아 감염 및 유병률에 미치는 효과를 실증하는 것을 목적으로 한다. 구체적으로, 여러 정주환경 특성을 종합하여 도시성을 다면적으로 측정하고 정주지 유형을 6가지(주요 도시, 일반 도시, 도시 슬럼, 타운, 일반 농촌, 원격 농촌)로 구분하였다. 또한, 다중스케일(Multiple-scale) 관점으로 연구를 설계하여 도시성이 말라리아에 미치는 효과를 여러 공간 범위에서 규명하고자 하였다.

구체적인 연구 목적은 다음과 같다. 첫째, 대륙, 거시지역, 국가 스케일에서 아동 말라리아 감염(infection)에 미치는 도시성의 효과를 규명한다. 둘째, 커뮤니티의 아동 말라리아 유병률(prevalence)에 미치는 도시성의 공간적 효과를 규명한다. 본 연구는 말라리아와 도시성의 관계를 이해하고 정주지 유형에 따른 말라리아 유병률의 차이를 파악하는 데 도움을 줄 것으로 기대된다. 또한, 말라리아 프로그램이 효과적으로 시행될 수 있도록 대상 지역 선정 및 정주지 유형별 계획에 시사점을 제공하는 데 연구의 의의가 있다.

2. 연구 범위 및 방법

1) 연구 대상 및 범위

본 연구는 미국국제개발처의 인구보건조사(Demographic and Health Survey, DHS), 말라리아 아틀라스 프로젝트(Malaria Atlas Project, MAP) 자료, 글로벌 인간 정주 레이어(Global Human Settlement Layer, GHSL)를 활용하였으며 구체적인 연구 대상과 범위는 다음과 같다.

첫째, 연구의 대상은 사하라 이남 아프리카의 아동이다. 개인의 말라리아 감염에 관한 분석은 5세 미만 아동을 대상으로 하며, DHS에서 혈액도말검사(Microscopy) 및 신속진단검사(Rapid Diagnostic Tests, RDT)를 통해 말라리아 감염 여부가 확인되는 아동으로 한정하였다. 커뮤니티의 말라리아 유병률에 관한 분석은 2-10세 아동을 대상으로 하며, MAP의 2-10세 아동의 열대열원충 감염 비율(Plasmodium falciparum Parasite Rate, PfPR)이 제공되는 DHS 조사구(커뮤니티)로 한정하였다.

둘째, 연구의 공간 범위는 사하라 이남 아프리카의 20개국이다(표 3). 사하라 이남 아프리카 내에서 보건 자료(DHS, MAP), 정주환경 관련 자료(GHSL), 다양한 지리공간 자료(geospatial data)를 활용할 수 있는 모든 국가를 포함한다.

셋째, 연구의 시간 범위는 2012년부터 2019년까지이다. GHSL이 구축된 최근 연도인 2015년을 기준으로 삼아 국가별로 2015년과 가장 가까운 연도의 DHS 자료를 1차 시기로, 이후의 DHS 자료를 2차 시기로 구분하여 취합하였다. 1차 시기의 자료는 1개를 제외하고 모두 2017년 이전의 자료이며, 2차 시기의 자료는 모두 2017년부터 2019년까지의 자료이다.

2) 연구 방법

연구 방법은 문헌 연구와 실증 분석으로 이루어진다. 문헌 연구에서는 보건지리학적 관점에서 말라리아 역학과 관련 정책을 검토하고 말라리아 영향 요인들을 정리하였다. 이어, 정주환경을 다룬 보건 연구를 정리하여 정주지 유형과 도시성 개념을 구체화하였다. 선행 연구를 검토한 뒤, 말라리아와 도시성 간 관계를 분석하기 위한 다중스케일의 분석틀과 도시성 측정법을 설계하였다.

실증 분석은 두 단계로 진행된다. 첫째, 아동 말라리아 감염에 미치는 도시성 효과를 분석하였다. 먼저, 대륙 스케일에서 도시성 효과를 파악할 때는 설명변수가 다수준으로 구성되고 종속 변수가 이분형(감염과 비감염)이라는 점을 고려하여 다수준 로지스틱 회귀모형(Multilevel logistic regression model)을 활용하였다.

거시지역 및 국가별로 달라지는 도시성의 효과를 분석할 때는 유사한 자료 및 방법을 활용한 여러 분석 결과를 취합하여 통합 효과를 추정하고, 개별 분석(국가) 간 또는 그룹(거시지역) 간 효과의 이질성을 규명하는 메타분석(Meta-analysis)을 활용하였다.

둘째, 커뮤니티의 말라리아 유병률에 미치는 도시성의 공간적 효과를 파급효과(spillover effect)와 국지적 효과(local effect)로 나누어 규명하였다. 우선, 인접 커뮤니티의 도시성이 특정 커뮤니티의 유병률에 미치는 효과를 실증할 때는 종속변수와 독립변수의 공간적 파급효과를 분석하는 공간회귀분석(Spatial regression model)을 활용하였다.

말라리아 유병률에 미치는 도시성의 효과가 커뮤니티별로 다르게 나타나는 양상을 분석할 때는 지역별로 달라지는 국지적 효과를 추정하는 지리가중회귀분석(Geographically weighted regression)을 활용하였다.

3. 연구 구성

본 연구는 다섯 개의 장으로 구성된다. 1장에서는 연구의 배경 및 목적을 밝히고 연구 범위와 방법을 제시한다. 2장에서는 말라리아의 보건지리와 영향 요인을 검토하고 말라리아와 도시성에 관한 선행 연구를 고찰한다. 3장에서는 다중스케일의 연구 설계를 제시하고 도시성 변수의 설정 및 기술 통계를 정리한다. 4장에서는 개인의 말라리아 감염에 미치는 도시성의 효과를 대륙과 거시지역 및 국가 스케일로 나누어 분석한 내용을 서술한다. 5장에서는 커뮤니티의 말라리아 유병률에 미치는 도시성의 공간적 효과를 파급효과와 국지적 효과로 나누어 분석한 결과를 서술한다. 6장에서는 연구 결과를 요약하고 정책 시사점을 제시한 뒤 연구 의의와 한계를 논의한다.

[그림 1] 연구 흐름도

제2장 이론 및 문헌 고찰

1. 말라리아의 보건지리

말라리아와 정주환경의 관계를 분석하는 본 연구는 보건과 지리의 관계를 탐구하는 보건지리학(Health geography)을 토대로 한다. 보건지리학은 보건 문제의 시공간 패턴, 보건 문제와 공간 및 장소의 관계, 보건 문제에 얽힌 사회경제 및 환경적 맥락을 지리적으로 분석하고 보건 정책을 제안한다(Dummer, 2008; Valorie et al., 2018). 이에 말라리아 질병 역학과 관련 정책 및 프로그램을 검토하고 말라리아 영향 요인을 지리적 관점에서 정리하였다.

1) 말라리아 역학과 프로그램

인간에게 감염되는 말라리아(human malaria)는 일반적으로 얼룩날개모기속(*Anopheles* genus)이 옮기는 열원충(*Plasmodium,* 이하 *P*)에 의해 발생한다(Mbacham et al., 2019; Sorvillo et al., 2015).[2] 국가 및 지역별로 원충 및 숙주의 종류는 다양하지만 말라리아를 감염시키는 열원충 중 사망률을 높이는 것은 열대열원충(*P. falciparum*)과 삼일열원충(*P. vivax*)이다(Guerra et al., 2010; Loy et al., 2017; Zilversmit et al., 2016). 그중에서도 열대열원충이 아프리카에서 말라리아 확산을 주도하는데(Snow, 2015), 2018년 아프리카에서

[2] 말라리아 매개 모기는 약 70종이 있는데(Service & Townson, 2002; Sinka et al., 2012), 아노펠리스(*Anopheles, An*) 속의 *An. gambiae*, *An. arabiensis*, *An. funestus* 등이 아프리카 말라리아 확산을 이끈다(Sorvillo et al., 2015; Tonnang et al., 2010).

발생한 말라리아 감염의 99.7%가 열대열원충에 의한 것이었다(WHO, 2019).

UN이 2000년 새천년개발목표(Millennium development goals, MDGs)와 2015년 지속가능발전목표(Sustainable development goals, SDGs)에서 말라리아 문제를 해결해야 할 주요 과제로 다루면서 다양한 말라리아 예방 및 통제 프로그램(이하 말라리아 프로그램)이 추진되었다(UN, 2016, 2019).[3] 프로그램의 종류에는 살충제 처리 모기장(insecticide-treated net, ITN), 실내 잔류 분무(indoor residual spraying, IRS), 말라리아 진단과 치료 등이 있다(Sorvillo et al., 2015; WHO, 2021a).[4] 이러한 프로그램은 반복적인 효과 분석을 통해 지속적으로 개선되었으며 시행 지역도 확대되었다(Bhatt et al., 2015; Hopkins et al., 2007; Kesteman et al., 2017; Sadoine et al., 2018).

그러나 말라리아 유병률의 시공간 역학은 다중스케일에서 공간적 격차가 이어지고 있음을 보여준다. 대륙별로 보면 1980년 이후 인구 대비 말라리아 감염자는 감소했지만, 전체 감염자 중 아프리카가 차지하는 비중은 더 높아졌다(Murray, Rosenfeld, et al., 2012; WHO, 2021b).[5] 아프리카 국가별로 보면, 인구 1천 명당 말라리아 감염자 수에 큰 차이가 있으며 2000년 이후 감염자가 감소하는 속도 역시 국가별로 다르게 나타난다(Murray, Rosenfeld, et al.,

---

[3] 본 논문에서 '말라리아 예방 및 통제 프로그램(Malaria prevention and control program)' 또는 '말라리아 프로그램'은 말라리아 문제 해결을 위해 국제기구, 정부, 비정부기구, 기업 등 여러 주체가 진행하는 프로그램, 프로젝트, 사업, 정책 등을 포괄한다.

[4] 아르테미시닌 기반 복합 치료법(artemisinin-based combination therapy, ACT), 계절성 말라리아 화학 예방(seasonal malaria chemoprevention, SMC), 간헐적 예방 치료(intermittent preventive treatment, IPT)도 주요 프로그램이다. 한편, 대표적인 예방법 중 하나인 ITN 중에서도 장기 지속 살충제 처리 모기장(long-lasting insecticide-treated nets, LLIN)이 많이 활용되며 ITN 기능 개선 및 보급 확대는 꾸준히 이어졌다(WHO, 2020).

[5] 특히, 2020년 코로나바이러스감염증(COVID-19)의 유행으로 보건 서비스에 차질이 생기자 아프리카 내 말라리아 감염자 수는 2019년보다 1,500만 명 증가하였다(WHO, 2021b).

2012; WHO, 2021b). 또한, 한 국가 또는 지역 내에서도 말라리아 유병률의 공간적 격차가 나타난다(Bhatt et al., 2015; Gething et al., 2011; Weiss et al., 2019).

말라리아 유병률의 공간적 격차는 특정 공간에 있는 아동이 감염 위험에 더 크게 노출되어 있음을 의미한다. 또한, 말라리아 위험 부담이 크지 않다고 알려진 고산 또는 도시에도 유병률이 높은 곳이 있다는 점에서(Keiser et al., 2004; Siri et al., 2008) 말라리아의 복잡한 역학에 얽힌 건강격차 문제를 유추할 수 있다. 이러한 이유로 세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 '말라리아 글로벌 기술 전략 2016-2030(Global technical strategy for malaria 2016-2030, GTS)'에서 접근성이 낮고 취약한 사람을 위한 보건 서비스의 평등한 접근성 보장과 현장에 적합한 프로그램 추진을 강조하였다(WHO, 2015).

말라리아만이 아니라 여러 보건 문제에서 건강 수준 및 보건 서비스의 격차가 지속되면서 건강형평성에 관한 논의가 증가하였고[6] 보편적 의료보장(UHC) 정책의 중요성이 높아지고 있다(Coovadia & Friedman, 2015; Satcher & Rachel, 2010; WHO-AFRO, 2020).[7] 이러한 흐름을 고려할 때 아프리카 아동의 건강형평성을 보장하기 위해 말라리아 문제의 공간적 격차와 그 원인을 분석할 필요가 있다. 이러한 분석을 기반으로 프로그램 대상지를 선정하고 정주지 유형별 전략을 마련하여 효과적인 말라리아 프로그램을 만들어가는 것이 중요하다.

---

[6] 건강격차(health disparity)는 사회적 조건의 서로 다른 분배로 인한 건강 지표의 체계적인 차이이다(Lee et al., 2020). 건강불평등(health inequality)은 건강격차와 유사한 의미로 사용되기도 하지만 주로 생물학적 차이로 인한 인구 집단 간 보건 지표의 차이를 뜻한다(Lee et al., 2020). 건강형평성(health equity)은 지역 및 인구집단 간 보건 자원의 분배가 공평하고 건강격차가 없는 것을 의미한다(Coovadia & Friedman, 2015). 여러 문헌이 의료보건 관련 인프라와 개발협력의 도시 편향성(urban bias)을 지적했는데(Dreher et al., 2019; Majumdar et al., 2004; Marty et al., 2017; Öhler et al., 2019), 이는 건강형평성 문제와 관련이 있다.

[7] 2012년 WHO는 보편적 의료보장(Universal Health Coverage, UHC) 결의안을 통과시켰으며, 2021년 'WHO Guidelines for malaria'에서 UHC를 강조하였다(WHO, 2015, 2021a).

2) 말라리아 영향 요인과 지리

사하라 이남 아프리카에서 발생하는 말라리아 문제의 원인을 이해하고자 여러 문헌이 말라리아 감염 및 커뮤니티의 말라리아 유병률에 미치는 요인을 제시해왔다. 그 요인들은 원충 및 매개체 특성, 인간 행동 및 가구 특성, 정주 환경의 지리, 의료보건체계와 사회경제 등을 포함한다(Bannister-Tyrrell et al., 2017; Kar et al., 2014; Protopopoff et al., 2009; Robert et al., 2003; Sorvillo et al., 2015).[8] 주요 영향 요인과 그 효과는 다음과 같다.[9] 개인 수준에서 아동의 연령과 성별이 말라리아 감염과 관련이 있으며, 감염 예방 행동(모기장 사용) 등이 말라리아 감염 확률을 낮춘다(Bannister-Tyrrell et al., 2017; Griffin et al., 2014; Sadoine et al., 2018). 부모의 교육 수준, 가구의 경제 수준 및 주택의 질이 낮을수록 말라리아 감염 가능성이 높아진다(Degarege et al., 2019; Tusting et al., 2017). 커뮤니티 및 지역 수준에서 많은 강수량, 낮은 고도, 높은 식생 밀도, 모기 서식지가 되는 수체(water body)와의 인접성 등 매개 모기의 확산에 유리한 자연지리 특성은 말라리아 유병률을 높인다(Baidjoe et al., 2016; Dabaro et al., 2021; Mfueni Bikundi & Coppieters, 2017; Siraj et al., 2014). 또한, 낮은 도시화 수준, 낮은 보건의료 접근성, 지역 분쟁의 증가 등 인문지리 및 사회경제 특성은 말라리아 유병률을 높인다(Kabaria et al., 2017; Mosha et al., 2014; Sedda et al., 2015).

---

[8] 일부 문헌은 도시(Robert et al., 2003), 산림(Kar et al., 2014), 고산지대(Protopopoff et al., 2009), 주거지(Yaro et al., 2021) 등 특정 환경을 대상으로 말라리아 요인을 정리했다.

[9] 연구 대상 국가 및 지역, 연구 및 조사 시기, 연구 참여 대상 등에 따라 말라리아 영향 요인의 종류 또는 그 요인이 미치는 효과의 방향이 다른 경우가 있다. 본문에 언급되지 않은 주요 요인들과 말라리아의 관계는 [부록 표 1]에 정리하였다.

한편, 아프리카 국가들이 빠른 도시화를 경험한다는 점에서 특정 정주환경의 말라리아 감염 요인을 분석하는 연구가 증가하였다. 이들 연구에 따르면, 매개 모기의 서식을 어렵게 하는 건조 환경, 도시의 보건 서비스 접근성 향상은 감염 확률을 낮추지만(Boyce et al., 2019; De Silva & Marshall, 2012). 도시 농업, 수체와의 인접성, 농촌 방문 경험, 인프라와 위생 시설 부족은 감염 확률을 높인다(Baragatti et al., 2009; Boyce et al., 2019; Kasili et al., 2009; Matthys et al., 2006; Njuguna et al., 2016).[10] 농촌에서는 말라리아 프로그램과 보건 접근성, 경작 토지 확대 등이 낮은 유병률과 관련이 있다(Amoah et al., 2018; Malede et al., 2018; Mfueni Bikundi & Coppieters, 2017).

이처럼 다양한 영향 요인들을 5가지 범주(생물학적 특성, 행동·사회경제 특성, 자연지리·생태 특성, 인문지리·사회경제 특성, 정책·프로그램)로 정리하였다(표 1). 이 범주는 말라리아가 동반 질병(comorbidity) 및 아동 사망과 관련이 깊다는 점을 고려하여[11] 아동 보건 분석의 틀을 제시한 문헌[12]을 포괄적으로 참고하여 나눈 것이다. 문헌 검토 결과, 유병률의 격차를 만드는 주요 원인은 정주환경 특성이었다. 커뮤니티 및 지역마다 지리, 생태, 사회경제 특성이 달라 말라리아 문제의 격차가 발생하는 것인데, 이는 WHO가 말라리아 프로그램의 범위를 확대하고 현지에 적합한 프로그램을 강조하는 배경이기

---

[10] 비공식 거주지와 근교의 열악한 정주환경과 도시 빈민의 낮은 사회경제 수준은 말라리아 부담을 높인다(Deutsch-Feldman et al., 2020; Kasili et al., 2009; Njuguna et al., 2016).

[11] 말라리아는 임신 중 감염, 급성 열성질환으로의 감염, 만성적이고 반복된 감염 등의 경로로 아동 사망 및 병적 상태를 유발하는데(Sorvillo et al., 2015; WHO·UNICEF, 2003), 감염 아동은 다른 질병도 동시에 부담하거나 사망으로 이어지는 경우가 많다(Kateera et al., 2015; McCord et al., 2017; Papaioannou et al., 2019; Paton et al., 2021).

[12] Mosley and Chen (1984), Labonte and Torgerson (2005), Hiatt et al. (2017), Birn et al. (2017b), Birn et al. (2017a), Galea et al. (2005), David Vlahov and Galea (2002)를 참고하였다.

도 하다. 종합하면, 말라리아 문제를 해결하기 위하여 정주환경의 특성을 면밀하게 분석하고 말라리아에 미치는 영향을 이해하는 것이 중요하다.

[표 1] 말라리아 영향 요인

Biology	Human behavior & Socio-economy	Policy & Programs
Individual age, sex, birth order, disease (medical history)	**Individual** indoor & outdoor activities, protective behaviors **Parents** education level, occupation, protective behaviors **Household** household income, wealth, household size (density indoor), housing material (roof, wall), sanitation facility, water source, livestock	**Individual** **- Household** vector control (ITN, IRS, ACT), diagnosis and treatment, education, financial support, WASH,[1] housing improvement
Physical geography **& Ecology**	**Human geography** **& Socio-economy**	
Community & Region precipitation (humidity), temperature, topography (altitude), hydrology (water body), vegetation (forest density), soil **Country** physical geographical characteristics **Continent & Global** climate change at macro scale	**Community & Region** demography (population), urbanization, land use, built environment, infrastructure, accessibility (road), mobility, migration, network, health access (medical facility), economy, industry, administrative status, politics, conflict, local government policy **Country** domestic economy, institution, health and welfare policy, health care system **Continent & Global** macroeconomy, international relations, ODA, international organization policy	**Community** **- Region** vector control (larvicides), health facility, health expenditures

주: 말라리아 영향 요인을 6가지 수준과 5가지 범주로 정리하였다. 수준(스케일)은 각 영향 요인의 공간 범위와 특성을 바탕으로 6가지로 정리하였다. 범주는 사람의 스케일(개인, 부모, 가구)과 공간환경 스케일(커뮤니티, 국가, 거시지역)의 요인을 생물·자연·생태 부문과 행동·인문·사회경제 부문으로 나누고, 정책 및 프로그램을 더해 5가지로 구성하였다.

[1] water, sanitation and hygiene.

2. 정주환경의 도시성과 보건

사하라 이남 아프리카 국가들의 빠른 도시화는 정주환경의 변화를 동반했다. 이러한 지리적 맥락에서 많은 연구가 도시화와 정주환경 특성이 건강에 미치는 영향을 분석하고 보건 문제의 공간적 격차를 지적하며 건강형평성의 필요성을 제기해왔다. 따라서 정주지 유형 및 도시화와 도시성의 개념, 도시성 측정 및 정주지 유형 구분 등을 중심으로 문헌을 검토하였다.

1) 정주환경의 도시성과 정주지 유형

정주환경(settlement environment)은 정주지를 둘러싼 환경으로서 정주지의 지리 특성 및 거주민의 사회경제 특성을 모두 아우르며(Bowen & Gleeson, 2019; UN-Habitat, 1976)[13] 그 특성은 거주민의 건강 및 질병 생태에 영향을 준다(Betsinger & DeWitte, 2021; Birn et al., 2017a). 그런데 아프리카의 정주환경은 지난 20년간 급격한 도시화로 인해 큰 변화를 겪었고[14] 이는 보건 문제에도 영향을 주었다(Boadi et al., 2005; D. Vlahov et al., 2007).[15]

---

[13] 1976년 인간 정주에 관한 제1차 UN 컨퍼런스에서 발표된 밴쿠버선언(Vancouver Declaration on Human Settlements)에 따르면, 인간 정주지(human settlements)는 도시(city), 타운(town), 마을(village)을 모두 포함하는 인간 커뮤니티의 총체(totality of the human community)이다(UN-Habitat, 1976).

[14] 20세기 후반 이후 저소득 국가들의 도시화가 빠르게 진행되며 비공식 주거지, 근교 타운 등 여러 유형의 정주지가 형성되었으며(Kasarda & Crenshaw, 1991) 아프리카의 이러한 도시화 과정은 지속되고 있다(UN-DESA, 2019; UN-Habitat, 2020)

[15] 많은 연구가 도시성이 증가하면 전반적인 보건 문제가 감소한다고 밝혔으나, 질병 및 특정 보건 문제에 따라 그 양상은 다양하다(Corker, 2017; Helbich et al., 2017; Henderson et

기존 연구에 따르면 도시화로 인한 정주환경의 변화는 만성병, 전염병 등 여러 질병에 영향을 미치는데 구체적인 효과는 질병의 종류와 특정 정주지가 지닌 특성에 따라 차이가 있다(Alirol et al., 2011; Allender et al., 2008; Boyce et al., 2019; Eckert & Kohler, 2014). 또한, 도시화 과정에서 도시 지역 내 건강격차와 불평등과 같은 사회 문제를 낳기도 한다(Bisung et al., 2018; Günther & Harttgen, 2012).[16]

도시화와 정주환경의 변화가 해당 지역의 보건 문제에 기회가 될 수도, 위험이 될 수도 있다는 점에서 정주지의 도시성을 파악하고 그 효과를 규명하는 것은 중요한 과제가 되었다(McMichael, 2000; Pumain, 2017; Tatem & Hay, 2004). 이러한 이유로 보건 문제에 미치는 도시성의 효과 및 정주지 유형에 따른 건강격차를 분석하고자, 여러 연구가 정주환경의 도시화 및 도시성을 정의하고 정주지 유형을 구분해왔다.

구체적으로, 보건 연구는 정주환경의 특성을 나타내는 변수로 도시와 농촌(정주지 유형), 도시화, 도시성 개념에 주목해왔다. 문헌에서 이 개념들은 그 의미가 비슷하여 혼용되기도 하지만 각 개념의 정의, 보건 문제에 대한 관점 및 분석 접근법에 차이가 있다(Tonne et al., 2021).

'도시(urban)'는 인구가 많고 고차 산업이 발달하였으며 주요 경제 및 행정 기능을 수행하는 정주지를, '농촌(rural)'은 인구가 적고 1차 산업(농업) 비중이 큰 정주지를 의미한다(Dahly & Adair, 2007; Ofori-Amoah, 2019;

---

al., 2019; Jones et al., 2016; Sampson et al., 2020).

[16] 도시화 과정에서 도시 거주민의 사회경제 수준 및 보건 접근성이 향상되면서 전반적인 보건 수준은 개선되었지만(Fotso, 2007; Van de Poel et al., 2007; Yaya et al., 2019), 비공식 주거지의 형성과 보건 및 위생 인프라 부족은 도시 내 건강격차를 비롯한 여러 보건 문제를 낳았다(Corburn & Sverdlik, 2019; Kasili et al., 2009; Reyes et al., 2013).

Pacione, 2009). 도시 보건 관련 문헌에서 도시는 행정 경계, 물리적 특성, 기능적 특성으로 정의되고(Tonne et al., 2021)[17] 농촌 보건 관련 문헌에서 농촌은 행정 경계, 지리적 특성으로 정의된다(Hart et al., 2005; Lourenco, 2012; Terashima et al., 2014).

'도시화(urbanization)'는 인구 규모가 증가하고 고차 산업이 발달하는 등 도시 특성이 뚜렷해지는 현상으로, 보건 문헌에서는 도시화를 정주지의 규모, 밀도, 이질성이 변하는 과정으로 개념화한다(Cyril et al., 2013; David Vlahov & Galea, 2002). 특히, 보건 분야에서 정주지 변화에 의한 건강 변화를 보기 위해 인구와 경제구조, 토지이용과 건조환경 등을 기준으로 도시화를 파악한다(Tonne et al., 2021; David Vlahov & Galea, 2002).

'도시성(urbanicity)'이란 인간에게 영향을 주는 도시 특성을 뜻하며 도시 생활과 삶에 미치는 도시 환경의 영향에 주목하는 개념이다(David Vlahov & Galea, 2002).[18] 보건 연구에서는 도시성을 행정적 도시-농촌 정의, 인구 규모 등에 따라 구분하기도 하며, 여러 정주지 특성을 종합하여 측정하기도 한다(Cyril et al., 2013; Jiamjarasrangsi et al., 2016; David Vlahov & Galea, 2002).

'농촌성(rurality)'은 농촌 특성의 수준을 의미하여 기존 문헌에서는 도시성과 농촌성이 상반된다고 보지만, 최근에는 농촌 환경의 다양성을 고려하여 농촌 정주지의 유형을 세분하는 연구가 증가하고 있다(Hart et al., 2005; Lourenco, 2012; Pumain, 2017).

---

[17] 특정한 도시 특성(공해, 토지 이용, 도시 체계 등)이 건강에 주는 영향을 분석하는 문헌에서는 그 도시 특성이 영향을 미치는 범위를 고려하여 대안적인 도시 지역을 설정하기도 한다(Tonne et al., 2021).

[18] 도시화가 점진적으로 도시 특성이 뚜렷해지는 공간의 변화에 주목한다면, 도시성은 주어진 시점에서 도시민의 삶과 건강에 영향을 주는 공간적 특성에 주목한다는 점에서 도시화와 도시성 개념은 차이를 보인다(David Vlahov & Galea, 2002).

이처럼 도시와 농촌(정주지 유형), 도시화, 도시성과 농촌성 등은 서로 유사하지만 다른 의미를 지닌다. 따라서 선행 연구에서 각 개념이 어떤 의미와 관점으로 쓰이는지 파악하며 정주지 유형 구분 및 도시화와 도시성 측정 방식을 검토하였다.

2) 도시성 측정 및 정주지 유형 구분

커뮤니티의 도시화 및 도시성을 측정하고 정주지 유형을 구분하는 방법은 연구 주제와 대상에 따라 다양하지만, 일반적으로 행정적 유형 구분, 위성 기반 도시화 자료, 커뮤니티의 정주환경 특성 자료가 활용된다.[19]

먼저, 정주지 유형 구분에 많이 활용되는 것은 행정적으로 지정된 정주지 유형 구분이다.[20] 이 구분법은 국가별 인구 및 지리적 맥락을 반영하며, 행정구역별 보건 정책을 분석에 활용될 수 있고, 자료 구득이 편리하다는 이점이 있다(Beatriz et al., 2018; UN, 2017; Wineman et al., 2020).[21] 그러나 인구 특성(규모 및 밀도)만을 기준으로 정주지를 구분하거나 정주지 유형을 단순화하는 단점이 있으며, 국가별로 정의가 달라 비교 분석이 어렵다(Champion & Hugo, 2017; David Vlahov & Galea, 2002).

---

[19] 정주환경 연구의 스케일은 가구(주택, 위생 환경)부터 지역(지리, 생태 특성)까지 여러 스케일이 중첩되지만 보건 연구에서는 주로 커뮤니티 수준에서 정주환경을 파악한다.

[20] 이 구분은 중앙통계청(central statistics offices, CSO) 정의, 국가통계청(national statistical office, NSO) 분류, 공식 행정적 범주(official administrative categorization) 등을 포함한다.

[21] 행정적 도시-농촌 구분은 여러 설문자료에서 조사구의 기본 정보로 포함되어 있다. '조사구'는 설문자료에서 가장 작은 지리적 단위이기도 하다. 보건 연구에서 조사구는 주로 커뮤니티(community) 및 근린(neighborhood) 수준의 공간 단위로 사용된다.

여러 국가를 대상으로 하는 연구는 위성자료에 기반한 도시 범위(urban extents) 및 인구 자료(GHSL, GRUMP, GPW, MODIS, MAP, WorldPop 등)[22]를 활용한다. 이들은 높은 해상도의 정보를 제공하기 때문에 미시적인 자료가 적은 아프리카의 도시화 분석에 활용도가 높다(Stevens et al., 2019). 다만, 도시와 농촌 또는 도시, 근교(peri-urban), 농촌 등으로 정주지 유형을 단순화하는 경우가 많으며, 자료별로 정주지 유형을 구분하는 방식에 기술적 한계가 있다(EU et al., 2021; A. J. Florczyk et al., 2019; Linard & Tatem, 2012).[23]

최근에는 커뮤니티 수준에서 도시성을 다면적으로 측정하고 연속형 변수로 설정하는 보건 연구가 증가하였다.[24] 이러한 방식은 도시-농촌 연속체(continuum) 관점으로 도시성을 연속적인 값으로 측정하고 여러 정주환경 특성을 종합하여 다면적 도시성(multi-dimensional urbanicity)을 파악한다는 이점이 있다(Dahly & Adair, 2007; Dear et al., 2018; Lourenco, 2012; Novak et al., 2012; Wilson et al., 2015). 그러나 구체적인 측정 방법과 정주지 유형 구분의 기준점이 연구자에 따라 다르며 특정 지역에 한정된 자료를 활용하는 경우가 많다(Cyril et al., 2013; Jones-Smith & Popkin, 2010).[25]

---

[22] GHSL(Global Human Settlement Layer), GRUMP(Global Rural-Urban Mapping Project), GPW(Gridded Population of the World), MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectrometer), MAP(Malaria Atlas Project).

[23] 이 점에서 여러 연구기관과 연구자가 다양한 위성 기반 자료를 비교 및 조합하며 정주지 유형을 세분하는 작업이 활발히 진행되고 있다(EU et al., 2021; A. J. Florczyk et al., 2019).

[24] 기존 문헌에서 커뮤니티의 다양한 특성을 종합하여 측정한 도시성은 다면적 척도(multi-dimensional scale), 다성분 척도(multi-component scale) 등으로 표현된다. 또한 일반적으로 커뮤니티 수준에서 다면적 도시성을 파악하지만, 일부 연구는 가구 수준에서 파악하기도 한다(Larson et al., 2021; McDade & Adair, 2001)

[25] 다면적 또는 연속형 도시성 변수를 개발한 연구들은 척도 개발(scale development) 방법론(DeVellis, 2003; Netemeyer et al., 2003) 또는 주성분 분석(Principal component analysis,

한편, 농촌 지역의 정주지 유형을 세분한 연구들은 농촌을 도시가 아닌 곳(non-urban)으로 정의하기보다 커뮤니티 단위의 특성과 이질성에 주목한다. 이들은 농촌성도 연속성과 다면성을 지닌다고 보고 여러 정주환경 특성을 조합하여 농촌성을 측정하였다(Hart et al., 2005; Lourenco, 2012; Terashima et al., 2014). 또한, 도시 내에서 발생하는 건강격차를 분석한 연구는 UN-Habitat의 슬럼 정의와 '기본 요구 불만족(unsatisfied basic needs, UBN)' 개념을 활용하여 도시 지역 내에서 슬럼 커뮤니티를 구분하였다(Assaf & Juan, 2020a, 2020b; Fink et al., 2014; Rutstein et al., 2016).

종합하면, 많은 연구가 도시화 수준 및 행정적 정의로 정주지 유형을 구분해왔으며, 최근에는 다면적 도시성을 측정하거나 정주지 유형을 세분하는 연구가 증가하고 있다. 특히, 도시화 개념은 거시적인 스케일에서 인구와 건조환경을 바탕으로 도시의 규모와 밀도를 파악하는 데 사용되었고, 도시성 개념은 커뮤니티의 정주환경이 얼마나 도시 환경에 가까운가를 파악하는 데 활용되었다.[26] 또한 도시성 개념을 활용하는 연구에서 분석 대상의 지리적 맥락을 고려하여 도시성 측정에 활용될 정주환경 요소는 연구자에 의해 선택하는 경향이 있다. 즉, 정주지 유형을 구분할 때 인구학적 및 공간적 특성이 주요 기준이 되지만, 구체적인 구분법은 지속적으로 개선되고 있다(Dijkstra et al., 2021; Fish et al., 2020). 따라서 분석 대상과 공간 범위를 고려하여 정주지 유형을 구분하는 기준을 세우는 것이 중요하다.

PCA) 등 여러 방법을 활용하였다. 보편적인 방법이 있는 것은 아니지만 더 나은 도시성 변수 설정을 위해 논의가 지속되고 있다(Jiamjarasrangsi et al., 2016; Novak et al., 2012).

[26] 즉, 도시성은 도시화 과정으로 만들어지는 인문지리 및 사회경제 특성(인구, 경제구조, 접근성, 토지이용, 인프라 등)을 아우르는 개념으로 파악하는 경우가 많았다.

3. 선행연구 검토 및 연구 차별성

1) 말라리아와 도시성에 관한 연구

말라리아 감염의 주요 요인은 커뮤니티의 지리, 생태, 사회경제 특성이기 때문에 도시화와 정주환경 변화의 영향을 받는다. 여러 연구가 도시 말라리아 역학의 복합성과 커뮤니티 간 이질성을 지적하며(Hay et al., 2005; Keiser et al., 2004) 도시화로 인한 환경 및 사회경제 변화가 말라리아에 미치는 다양한 영향에 주목하였다(Hay et al., 2005; Robert et al., 2003; Tatem et al., 2013).

특히, 말라리아와 도시성에 관한 많은 문헌이 도시성이 증가함에 따라 말라리아 유병률이 감소한다는 것을 밝혔다. 그러나 도시-농촌 이분법 또는 국가별 행정적 정의를 활용하여 도시성을 구분하는 한계가 있다.[27] 최근에는 위성에 기반한 고해상도 정보와 인구보건자료가 많아지면서, 커뮤니티 및 가구의 도시성을 정확하게 측정하고 정주지 유형을 세분하는 시도가 증가하였다.

전세계 또는 대륙 스케일의 말라리아 연구는 위성 이미지 자료 및 인구조사 기반 자료(GRUMP UE, GPW3, MODIS 등)를 활용하여 도시화 수준에 따라 정주지 유형을 2-3가지(도시, 근교, 농촌 등)로 구분하였다(Kabaria et al., 2017; Qi et al., 2012; Tatem et al., 2008).

특정 국가 및 지역을 대상으로 한 연구들은 커뮤니티 수준에서 다양한 정주환경 특성을 종합하여 도시성을 다면적으로 측정하고 연속형 변수로 개발하

---

[27] 2007년 DR콩고(Messina et al., 2011), 2010년 나이지리아(Adigun et al., 2015), 2012년 세네갈(Giardina et al., 2012), 2006년 잠비아(Riedel et al., 2010), 2006-2012년 잠비아(Bennett et al., 2016), 2007-2008년 탄자니아(Gosoniu et al., 2012), 2011-2012년 코트디부아르(Houngbedji et al., 2015) 등에서 말라리아 유병률의 도시-농촌 격차가 확인되었다.

였다. 특히, Frank et al.(2016)는 척도 개발 방법론을 적용하여 8가지 정주환경 특성을 반영한 도시성 변수를 설정함으로써 도시성 변수의 신뢰성 및 타당성을 확보한 뒤 말라리아에 미치는 도시성의 효과를 분석하였다.

일부 연구는 다양한 정주환경 특성으로 주성분 분석(PCA)을 실시한 뒤, 도출된 주성분의 값으로 다면적 도시성을 측정하였다. Larson et al.(2021)는 6가지 정주환경 특성으로 주성분 분석을 한 뒤 첫번째와 두번째 주성분 값의 합으로 연속형 도시성 변수를 설정하였다. Deutsch-Feldman et al.(2020)는 5가지 정주환경 특성으로 주성분 분석을 한 뒤 첫번째 주성분 값의 상위 25%에 속한 커뮤니티를 도시로 지정하고 나머지를 농촌으로 구분하였다.

한편, Kigozi et al.(2015)는 4가지 정주환경 특성으로 도시성 점수를 구하여 도시와 농촌을 구분하였고, Dear et al.(2018)는 도심 접근성으로 커뮤니티의 도시성을 세분하였으며, Omumbo et al.(2005)는 주성분 분석과 군집 분석을 혼합하여 도시성을 다면적으로 측정하였다.

말라리아 관련 연구에서 도시화 수준 및 도시성을 측정하고 정주지 유형을 구분하는 방법론이 꾸준히 발전하고 있지만, 몇 가지 개선의 여지가 있다. 거시적인 스케일에서 위성 자료를 활용한 경우에 정주지 유형을 도시, 근교, 농촌 등으로 단순화하는 경향이 있으며, 특히 농촌 지역 내 다양한 정주지 유형을 고려하지 못하였다. 특정 지역에 제한된 자료를 활용하여 다면적 도시성을 측정한 경우, 동일한 방법론을 다른 지역에 확대 적용하거나 비교 분석을 하기가 쉽지 않다. 또한, 아프리카의 여러 도시에는 비공식 주거지 및 근교에 거주하는 도시빈민이 많아 저소득층 정주지 유형을 파악하는 말라리아 연구가 필요하지만 여전히 부족하다. 따라서 도시성을 다면적으로 측정하여 정주지 유형을 세분하고 여러 국가를 대상으로 비교 분석을 실시한 말라리아 연구가 필요하다.

[표 2] 말라리아와 도시성에 관한 선행연구

Authors (year)	Study area (locality)	Var. name (type)	Category or Scale (measurement)	Data (components)
Multi-country studies: degree of urbanization				
Kabaria et al. (2017)	14 African countries	Urbanization (categorical)	Urban, Rural Urban, Peri-Urban, Rural	CSO[3]-defined, GRUMP UE[4], MODIS[5], Modified GRUMP UE
Tatem et al. (2008)	Pf[1] Malaria endemic countries	Urbanization or urban settlement (categorical)	Urban, Rural Urban, Peri-Urban, Rural	Author-defined, GRUMP-UE, GRUMP-UE/GPW3[6] MODIS, etc.
Qi et al. (2012)	Pv[2] Malaria endemic countries	Urbanization (categorical)	Urban, Rural	GRUMP-UE
Country or region case studies: Multidimensional urbanicity				
Frank et al. (2016)	Ghana (1 region)	Urbanicity (continuous)	Multicomponent scale using 8 comp. (Scale development)	interview & National Census (population size, economic activity, education, health, sanitation, housing, services, transportation)
Kigozi et al. (2015)	Uganda (3 sub-counties)	Urbanicity score (continuous, categorical)	Dichotomous scale (high or low) using 4 comp. (Cumulative score)	Cohort survey (household density), Landsat imagery (land cover), SPOT 6 (NDVI), VIIRS[7] satellite sensor (night-time lights)
Country or region case studies: PCA-based urbanicity				
Larson et al. (2021)	Malawi (8 districts)	Urbanicity (continuous)	PCA-based scale using 6 comp. (PCA)	WorldPop data (population density), JICA[8] survey data (health facility), DIVA-GIS (elevation, rivers, lakes, road)
Deutsch-Feldman et al. (2020)	DR Congo	Urbanicity (categorical)	Urban, Rural (PCA (urban))	DHS Spatial Data Repository (built environment, night-time lights, population, population density, travel time to the nearest city)
Siri et al. (2008)	Kenya (1 urban area)	Urbanization (categorical)	Urban, Peri-urban, Semi-rural (Cluster analysis, PCA)	KAP[9] (education, electricity, water, household ownership), Quickbird (NDVI), National census (population density)

[1] *P. falciparum*. [2] *P. vivax*. [3] Central Statistics Offices. [4] Global Rural-Urban Mapping Project Urban extents. [5] Moderate Resolution Imaging Spectrometer. [6] Gridded Population of the World, version 3. [7] Visible Infrared Imaging Radiometer Suite. [8] Japan International Cooperation Agency. [9] knowledge, attitudes and practices.

2) 연구 차별성

정주환경의 도시성이 말라리아 감염에 중요한 영향을 미친다는 점을 고려할 때, 다양한 정주환경의 특성을 고려하여 도시성 변수를 설정하고 말라리아에 미치는 도시성의 효과를 규명하는 것은 중요한 작업이다. 또한, 국가 및 지역별로 말라리아 유병률과 도시 환경의 이질성이 크다는 점에서[28] 국가 및 지역별로 도시성 효과의 차이를 분석할 필요가 있다. 그러나 대륙 스케일의 말라리아 연구는 정주지 유형의 다양성을 충분히 고려하지 못했다. 도시성을 다면적으로 측정하거나 연속형 변수로 설정한 연구는 특정 국가를 대상으로 하여 국가 간 비교 연구로 확장하기가 어렵다는 한계를 지닌다.

이러한 연구의 공백은 도시성과 말라리아 간 관계를 이해하고 말라리아 프로그램의 대상 지역을 선정하는 데 어려움을 준다. 따라서 본 연구는 다면적 도시성을 반영하여 정주지 유형을 세분하고, 다중스케일 관점에서 도시성이 말라리아에 미치는 효과를 실증하고자 한다. 본 연구의 구체적인 차별성은 다음과 같다.

첫째, 위성 기반 자료와 커뮤니티 특성 자료를 종합하여 정주환경의 여러 특성을 반영하며 도시성을 측정한 뒤, 정주지 유형을 6가지(주요 도시, 일반 도시, 도시 슬럼, 타운, 일반 농촌, 원격 농촌)로 구분하였다. 특히, 도시 지역의 세부 유형과 농촌 지역의 세부 유형을 구분할 때, 각 지역의 특성을 고려하여 서로 다른 방법을 적용하였다. 도시 지역 내 정주지 유형은 인구와 건조환경, 커뮤니티의 주거환경 특성을 기준으로 구분하였고, 농촌 지역 내 정주지

[28] 도시화 과정 및 양상(인구 증가의 속도, 건조 밀도 변화, 외연적 확산의 양상, 비공식 거주지의 확대 등) 은 국가 및 도시별로 차이가 크다(Forget et al., 2021).

유형은 다섯 가지 정주환경 특성으로 도시성을 측정하여 구분하였다. 이러한 변수 개발 방법은 정주지의 지리적 맥락을 고려하여 도시 내 저소득층 커뮤니티와 농촌 지역의 세부 유형들을 구분하였다는 데 의의가 있다.

둘째, 다중스케일 관점으로 말라리아에 미치는 도시성의 효과를 여러 공간 범위 및 단위에서 확인하였다. 국가 및 커뮤니티별로 말라리아 유병률과 정주 환경이 다르다는 점을 고려하여 도시성 효과를 두 가지로 나누어 실증하였다. 대륙 스케일에서 말라리아 감염에 미치는 도시성의 효과를 파악한 뒤, 거시지역 및 국가별로 도시성의 효과가 달라지는지를 분석하였다. 이어, 말라리아 유병률에 미치는 도시성의 공간적 효과를 분석하였다. 공간적 효과는 인접 커뮤니티의 도시성이 특정 커뮤니티의 말라리아 유병률에 미치는 파급효과(spillover effects)와 커뮤니티마다 말라리아 유병률에 미치는 도시성의 영향이 달라지는 국지적 효과(local effects)로 나누어 분석하였다. 이러한 분석은 다양한 공간계량경제 모형으로 도시성의 공간적인 효과를 파악했다는 점에서 의의가 있다.

결론적으로 본 연구는 사하라 이남 아프리카의 지리적 맥락과 말라리아 질병 특성을 반영하여 정주지 유형을 세분하고 다중스케일 관점에서 말라리아와 도시성의 관계를 규명하였다는 데 차별성을 지닌다. 또한, 사하라 이남 아프리카 안에서 자료 구득이 가능한 모든 국가를 분석 대상에 포함하고 동일한 도시성 기준으로 분석하였다는 데 의의가 있다. 본 연구를 통해 도시성과 말라리아의 관계를 이해할 때 도시성 및 정주지 유형을 정교하게 파악해야 할 필요성을 제시하고, 사하라 이남 아프리카 아동의 말라리아 감염 위험을 낮추기 위한 다양한 정책 및 프로그램에 시사점을 제공하고자 한다.

제3장 자료 및 분석 방법

1. 분석 자료 및 범위

본 연구는 인구보건조사, 말라리아 유병률 자료, 위성 기반 지리정보 등을 활용하였다. 우선 미국국제개발처(USAID)의 인구보건조사(DHS)로 5세 미만 아동의 말라리아 감염 여부 및 사회경제 특성을 파악하였으며, 분석 대상을 혈액도말검사(Microscopy)나 신속진단검사(Rapid Diagnostic Tests, RDT)를 통해 감염 여부를 확인할 수 있는 아동으로 한정하였다. DHS는 2단계 집락표집(two-stage cluster samplings)을 따르는데, 행정 경계 및 지리에 따라 지역을 구분하여 조사구(Cluster)를 무작위로 할당한 뒤 15~49세 여성을 설문 대상자로 선정한다(DHS, 2012). 이 조사구를 1차 추출 단위(PSU; primary sampling unit)라고 하는데, 본 분석에서는 해당 조사구를 커뮤니티 단위로 설정하였다.

커뮤니티의 말라리아 유병률을 파악하는 데는 DHS 공간 정보가 제공하는 말라리아 아틀라스 프로젝트(Malaria Atlas Project, MAP)의 자료를 활용하였다.[29] 해당 자료는 다양한 자료를 종합하여 미시적인 공간 단위(5×5㎞)로 추정된 유병률이기 때문에 신뢰도와 해상도가 높은 자료이다. DHS 자료와 달리 모든 국가의 유병률 측정 시기를 2015년으로 지정할 수 있다는 장점도 있다.

---

[29] 말라리아 아틀라스 프로젝트(MAP)는 말라리아와 관련된 다양한 지도를 제작 및 분석하는 연구 프로젝트이다(Bhatt et al., 2015; Smith et al., 2007; Weiss et al., 2019). 본 연구에서는 개인정보보호를 위한 조사구의 좌표 이동을 고려하여 계산된 DHS 조사구별 MAP의 말라리아 유병률을 활용하였다(Mayala et al., 2018).

정주환경 정보로는 유럽연합 집행위원회(European Commission) 소속 공동연구센터(Joint Research Centre, JRC)의 '글로벌 인간 정주 레이어(Global Human Settlement Layer, GHSL)'를 활용하였다. 이 데이터 세트는 수년간의 여러 위성 이미지와 인구조사 자료 등을 종합하여 도출한 다양한 공간정보를 포함한다. 본 분석에는 GHS-SMOD(Settlement Model grid), GHS-BUILT(built-up area grid), GHS-UCDB(Urban Centre Database), GHS-FUA(Functional Urban Areas) 등 네 가지 자료를 활용하였다.[30]

GHSL 자료가 구축된 가장 최근의 연도가 2015년이기 때문에, 이 연도와 가장 가까운 국가별 DHS 자료를 취합하여 1차 시기로 설정하였다. 이보다 최근의 DHS 자료가 있는 7개국의 경우, 자료를 추가하여 2차 시기로 설정하였다. 1차 시기 자료는 1개(2018년 카메룬 DHS)를 제외하고 2017년 이전 자료이며, 2차 시기 자료는 2017년 ~ 2019년 자료이다.

최종 분석 대상은 20개 국가, 10,029개 커뮤니티, 92,039개 가구의 5세 미만 아동 141,971명이다. 분석의 공간 단위로 개인, 가구, 커뮤니티, 국가, 거시지역 등을 활용하였다. 여기서 커뮤니티 단위는 DHS 조사구에 해당한다. 거시지역(아프리카 동부, 서부, 중부 등)은 대륙 스케일(사하라 이남 아프리카)의 보건 연구에서 자주 활용되는 지역 구분 기준을 적용하였다(Murray, Ezzati, et al., 2012). 다만, 말라리아 확산 강도의 차이와 지리적 거리를 고려하여 동아프리카에 포함되는 마다가스카르를 기타 거시지역으로 분리하였다.

---

[30] GHS-SMOD는 GHS-BUILT(built-up area grid)와 GHS-POP(population grid)를 혼합하여 도출한 정주지 유형 자료이며(EU-JRC, 2020), GHS-UCDB(Urban Centre Database)와 GHS-FUA(Functional Urban Areas)도 GHS 데이터 세트가 보유한 건조지수, 인구, 정주지 유형 자료 등을 기반으로 도출되었다(A. Florczyk et al., 2019; Schiavina et al., 2019).

[표 3] 분석 대상 국가 및 DHS 자료 특성

Macro Region	Country	ISO	Year	R[1]	Type[2]	Sample			Malaria test[3]
						Cluster	Household	Children	
Central	Angola	AGO	2015-16	1	DHS	625	4,487	6,744	RDT
West	Burkina Faso	BFA	2014	1	MIS	252	3,926	6,074	micro.
			2017-18	2	MIS	245	3,817	5,482	micro.
East	Burundi	BDI	2012	1	MIS	200	2,458	3,465	micro.
Central	Congo DR	COD	2013-14	1	DHS	532	5,239	8,146	micro.
West	Cote d'Ivoire	CIV	2011-12	1	DHS	349	2,162	3,229	micro.
West	Cameroon	CMR	2018	1	DHS	428	2,878	4,716	RDT
West	Ghana	GHA	2016	1	MIS	200	2,144	2,948	micro.
			2019	2	MIS	200	2,030	2,757	micro.
West	Guinea	GIN	2012	1	DHS	300	2,091	3,180	micro.
East	Kenya	KEN	2015	1	MIS	245	2,460	3,270	micro.
West	Liberia	LBR	2016	1	MIS	150	1,918	2,713	RDT
Other	Madagascar	MDG	2016	1	MIS	358	5,214	6,741	micro.
West	Mali	MLI	2015	1	MIS	177	3,338	7,128	micro.
East	Malawi	MWI	2014	1	MIS	140	1,533	1,895	micro.
			2017	2	MIS	150	1,869	2,303	micro.
East	Mozambique	MOZ	2015	1	S. AIS	304	3,229	4,418	RDT
West	Nigeria	NGA	2015	1	MIS	326	3,669	5,685	micro.
			2018	2	DHS	1,355	5,314	7,778	micro.
East	Rwanda	RWA	2014-15	1	DHS	490	2,838	3,529	micro.
West	Senegal	SEN	2015-16	1	C. DHS	428	5,949	12,129	micro.
West	Togo	TGO	2013-14	1	DHS	329	2,223	3,207	micro.
			2017	2	MIS	171	2,224	6,414	micro.
East	Tanzania	TZA	2015-16	1	DHS	603	6,018	8,594	micro.
			2017	2	MIS	442	4,786	7,164	RDT
East	Uganda	UGA	2016	1	DHS	690	3,274	4,637	RDT
			2018-19	2	MIS	340	4,951	7,625	RDT
Total						10,029	92,039	141,971	

[1] 조사 시기(Round)는 1차와 2차로 구분하였다.

[2] 연구에 사용된 DHS는 Standard DHS, MIS(malaria indicator survey), C. DHS(continuous DHS), S. AIS(Standard AIDS indicator survey) 등을 포함한다.

[3] 말라리아 감염 유무는 신속진단검사(RDT)와 혈액도말검사(microscopy)를 통해 파악된 검사 결과로 확인하였다.

2. 연구 질문 및 분석 방법

본 연구는 다중스케일의 관점에서 말라리아와 정주지 도시성의 관계를 규명하고자 두 가지 연구 목적을 세웠다(표 4). 첫 번째 목적은 아동의 말라리아 감염에 미치는 도시성의 효과를 대륙, 국가 및 거시지역 스케일로 나누어 분석하는 것이다. 이에 따른 연구 질문과 두 가지 하위 연구 질문은 다음과 같다.

연구 질문 1.

정주환경의 도시성(정주지 유형)에 따라 말라리아 감염 가능성이 달라지는가?

1-1. 도시성(정주지 유형)과 말라리아 감염 간 유의한 관계가 있는가?

1-2. 그 관계는 거시지역별(아프리카 동부, 서부, 중부) 또는 국가별로 다르게 나타나는가?

첫 번째 하위질문을 해결하기 위하여, 종속변수가 이분형 변수(감염과 비감염)이며 여러 수준(개인, 가구, 커뮤니티)의 설명변수가 모형에 들어간다는 점을 고려하여 다수준 로지스틱 회귀모형(Multilevel logistic regression model)을 사용하였다.

이어, 말라리아 감염과 도시성의 관계가 국가별 및 거시지역별로 달라지는지를 확인하였다. 이를 위해 다수준 로지스틱 회귀모형으로 27개 DHS 자료를 개별 분석하여 정주지 유형 변수의 오즈비를 취합한 뒤, 메타분석(Meta-analysis)을 실시하였다. 이 분석으로 도시성의 통합적인 효과는 물론 국가 간 및 거시지역 간 도시성 효과가 어떻게 다른 지를 규명하여 두 번째 하위 질문을 해결하였다.

두 번째 연구 목적은 커뮤니티의 말라리아 유병률에 미치는 도시성의 공간적 효과[31]를 실증하는 것으로, 연구 질문 및 하위 질문은 다음과 같다.

연구 질문 2.

정주지 도시성이 커뮤니티의 말라리아 유병률에 미치는 공간적 효과가 있는가?

2-1. 인접 커뮤니티의 도시성이 특정 커뮤니티의 말라리아 유병률에 영향을 주는가?

2-2. 말라리아 유병률에 미치는 도시성의 효과가 커뮤니티별로 달라지는가?

첫 번째 하위질문을 해결하기 위해서 도시성의 공간적 파급효과(spillover effect)를 분석하는 공간계량분석이 필요하다. 따라서 인접 커뮤니티의 도시성이 특정 커뮤니티의 유병률에 미치는 효과를 분석할 수 있는 공간회귀분석(Spatial regression model)을 활용하였다.

이어, 커뮤니티별로 말라리아 유병률에 미치는 도시성 효과가 어떻게 달라지는지 파악하기 위해, 독립변수의 국지적 효과(local effect)를 추정하는 지리가중회귀분석(Geographically weighted regression)을 활용하였다.

거시지역별로 다른 지리 특성을 고려하여 동부, 서부, 중부, 마다가스카르로 나누어 분석하였다. 공간분석의 마지막 단계에서 20개국을 통합한 지리가중회귀분석으로 도시성 효과의 국지적 효과를 통합적으로 분석하였다.

---

[31] 일반적으로 '공간적 효과'는 두 가지로 나뉘어 논의된다. 하나는 인접한 지역 간 유사한 특성을 공유하는 공간적 의존성(spatial dependence), 다른 하나는 위치에 따라 특성이 달라지는 공간적 이질성(spatial heterogeneity)이다(Anselin, 1988). 본 연구는 도시성의 효과가 공간적으로 의존적이거나 이질적일 수 있다고 보았다. 따라서 공간적 의존성의 관점에서 도시성의 파급효과를, 공간적 이질성의 관점에서 도시성의 국지적 효과를 분석하였다.

[표 4] 연구 분석틀

Outcome (variable type, level)	Predictor (variable type)	Methods (effects estimated)	Spatial scopes (level of units)
1. the effects of urbanicity			
malaria infection under 5 years (categorical (2), individual level)	Urbanicity[1] (categorical)	1.1. Multilevel logistic reg.[2] (general effects)[3]	Continent (3-Multilevel)[4]
		1.2. Meta-analysis (subgroup)[5] (effects by macro-region)	Macro region (2-Multilevel)[6]
		Meta-analysis (effects by country)	Country (2-Multilevel)[6]
2. the spatial effects of urbanicity			
Malaria prevalence ($PfPR_{2-10}$)[7] (continuous, community level)	Urbanicity[1] (continuous)	2.1. Spatial reg.[2]: SAR[8], SDM[9] (spillover effects)	Macro region (Community)
		2.2. Geographically weighted reg.[2] (local effects)	Macro region (Community)
		Geographically weighted reg.[2] (local effects)	Continent (Community)

주: 분석은 두 가지 연구 목적에 따라 2단계로 나뉜다. 첫 번째 분석의 종속 변수는 개인의 말라리아 감염 여부이며, 두 번째 분석의 종속 변수는 커뮤니티의 말라리아 유병률이다.

[1] 도시성의 공간 단위는 커뮤니티 수준이다. 1단계 분석에서는 범주형 변수(정주지 유형), 2단계 분석에서는 연속형 변수(도시성)로 모형에 포함된다.

[2] 회귀분석(regression).

[3] 모든 국가와 표본을 포함한 대륙 스케일에서의 일반적인 도시성 효과를 의미한다.

[4] 개인, 가구, 커뮤니티 등 3개 수준으로 회귀모형이 구성된다.

[5] 메타분석 시 하위그룹 분석 동시에 진행하여 거시지역별 도시성 효과를 추정하였다.

[6] 개인, 커뮤니티 등 2개 수준으로 회귀모형이 구성된다.

[7] 2-10세 아동의 열대열원충 말라리아 유병률(*P. falciparum* parasite rate).

[8] 공간시차모형(spatial autoregressive model 또는 spatial lagged model, SLM).

[9] 공간더빈모형(Spatial Durbin Model).

3. 말라리아 감염 및 유병률

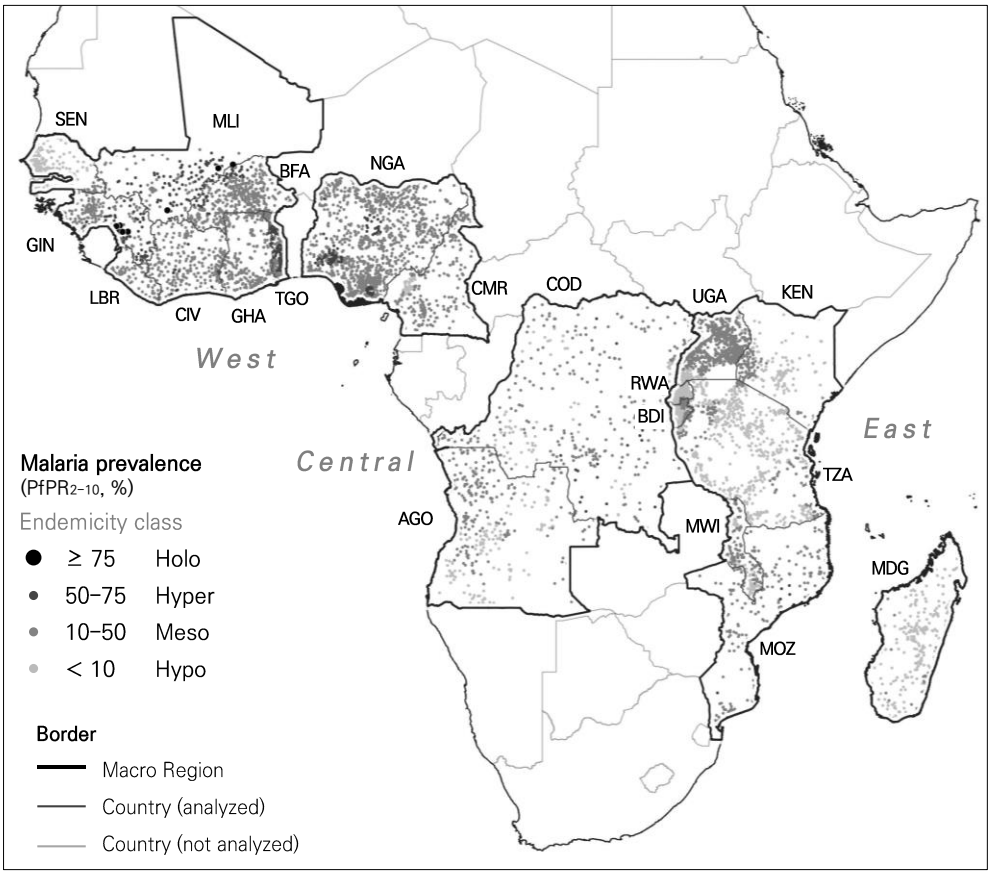
종속 변수는 분석에 따라 개인 수준 또는 커뮤니티 수준으로 나뉜다. 분석 1단계의 종속 변수는 5세 미만 아동의 말라리아 감염(infection) 여부이다. 표집 가중치를 부여한 통계량에서 아동 137,968명 중 20.1%가 말라리아에 감염되었으며, 2회차 검사 결과를 가진 7개국 아동의 감염 비율은 1회차에서 26.3%에서 2회차에서 17%로 감소하였다.

분석 2단계의 종속변수는 커뮤니티 단위에서 2-10세 아동의 말라리아 유병률(Prevalence)로 MAP(Malaria Atlas Pr oject)의 $PfPR_{2-10}$(*P. falciparum* parasite rate in 2-10 years)을 기준으로 하였다. 2015년 커뮤니티(DHS 조사구)의 평균 유병률은 18.7%이며 최솟값은 0.8%, 최댓값은 81.2%이다.

[표 5] 아동 말라리아 감염 및 유병률 기술통계

Outcomes[1]	Country	Survey[2] (Year)	Category (Unit)	N	% (Mean, SD)[3]
malaria infection	All	All	Negative	110,190.5	79.9
			Positive	27,777.6	20.1
	7 Countries that have round 2 survey[4]	Round 1	Negative	23,839.9	73.7
			Positive	8,489.4	26.3
		Round 2	Negative	31,741.9	83.0
			Positive	6,507.7	17.0
malaria prevalence	All	2015	$PfPR_{2-10}$ (%)	6,757.0	(18.7, 15.8)

주: 개인 수준의 말라리아 감염 여부 관련 통계량은 표집 가중치를 부여하여 계산하였다.
[1] 말라리아 유병률($PfPR_{2-10}$)은 커뮤니티의 말라리아 전염의 강도(transmission intensity)라고도 볼 수 있다. 국가별 기술통계는 [부록 표 4]에 정리하였다.
[2] 말라리아 감염 여부에 관한 DHS 자료 시기는 국가와 조사 시기별로 다르다(표 3).
[3] 범주형 변수(말라리아 감염 여부)는 비율을 정리하고 연속형 변수(말라리아 유병률)는 평균과 표준편차(standard deviation, SD)를 정리하였다.
[4] 2차 시기 DHS 자료가 있는 국가들에 대한 기술통계를 1차와 2차로 나누어 정리하였다.



[그림 2] 커뮤니티별 말라리아 유병률 지도

주: 위의 지도는 분석 대상 10,029개 커뮤니티(DHS 조사구) 중에서 $PfPR_{2-10}$ 정보가 있는 9,827개 커뮤니티를 포함한다. 말라리아 유병률 자료는 MAP의 2015년 $PfPR_{2-10}$을 사용하였다. 단계 구분에 사용된 말라리아 풍토성 등급(endemicity class)은 말라리아 유병률 현황 분석에서 자주 사용되는 등급(Bhatt et al., 2015)을 적용하였다. Holo에 속하는 커뮤니티는 수가 많지 않아 기호의 크기를 크게 하였으며, 이들 커뮤니티는 말리 동남부 지역과 기니 내륙 지역에서 찾을 수 있다. 말라리아 유병률이 높은 국가들(말리, 기니, 토고, 나이지리아, 우간다 부룬디 등)은 커뮤니티별 말라리아 유병률도 높은 편이다(부록 표 4). 그러나 위 지도를 통해 한 국가 내에서도 말라리아 유병률의 차이가 있다는 것을 알 수 있다.

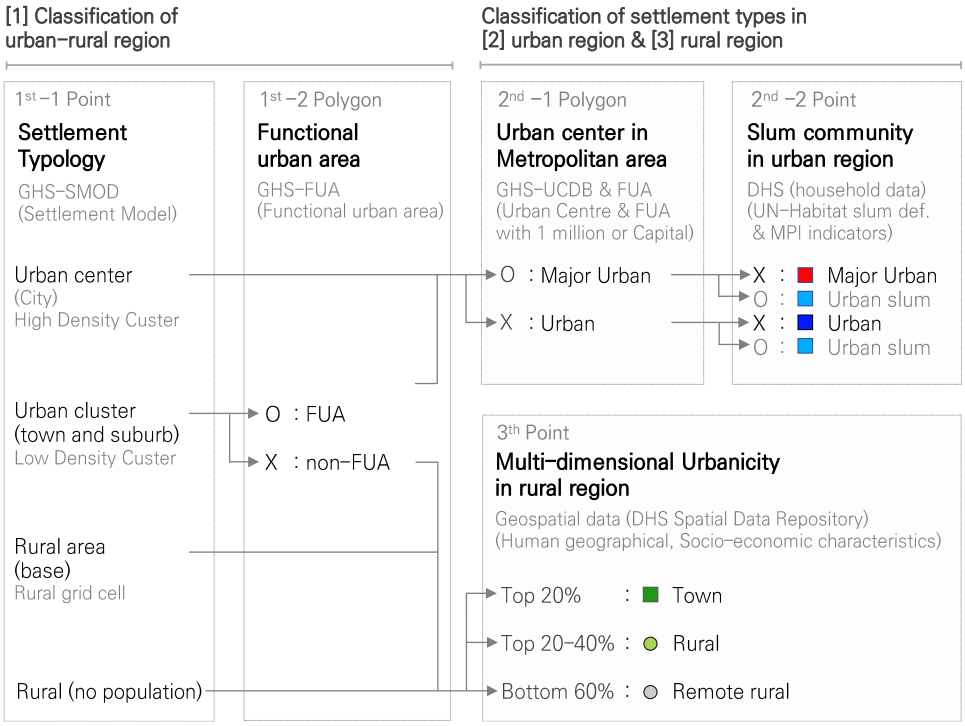
4. 정주지의 도시성

독립변수는 정주환경의 도시성(정주지 유형)이다. 여러 위성 기반 지리 정보와 DHS 자료로 정주환경 특성을 종합하여 커뮤니티(DHS 조사구)의 도시성을 측정하고 6가지 정주지 유형(주요 도시, 일반 도시, 도시 슬럼, 타운, 일반 농촌, 원격 농촌)으로 구분하였다. 본 연구가 개발한 정주지 유형 구분의 핵심은 전체 커뮤니티를 도시 지역과 농촌 지역으로 구분한 뒤, 각 지역의 정주환경 특성을 고려한 서로 다른 방법으로 도시성을 측정하고 정주지 유형을 세분하였다는 점이다. 정주지 유형별 주요 특성과 변수 설정에 활용한 자료는 [표 6]과 같다. 변수 설정 후, 도시성 변수의 내적 일관성 및 타당성을 점검하였으며 마지막으로 정주지 유형별 정주환경 특성을 정리하였다.

[표 6] 정주지 유형 용어 및 자료

Terms	Descriptions	Data	Common data[1]
Urban region			
Major urban	Large city with more than 1 million population in FUA[2] or capital city	GHS-UCDB (Urban Centre Database)	GHS-SMOD (Settlement model) & GHS-FUA (Functional urban areas)
Urban	Medium city with less than 1 million population in FUA[2]	GHS-UCDB (Urban Centre Database)	
Urban slum	Low income community, inner-city, peri-urban, slum-like and informal settlement in city	DHS (sanitation, living area, housing durability, water, living standards)	
Rural region			
Town	Small city with top 20% urbanicity in rural region	DHS Spatial Data Repository (Population density, Night-time lights, Administrative urban area, Accessibility, Built-up)	
Rural	Rural center and suburban with top 20%-40% urbanicity in rural region		
Remote rural	Village, small village, and hamlet		

[1] 도시 지역과 농촌 지역 구분에 활용된 자료. [2] 기능적 도시권(Functional urban area).



[그림 3] 정주지 유형 구분 절차

1) 도시성 측정 및 정주지 유형 구분

첫째, GHS의 정주지 유형 체계와 기능적 도시권(Functional urban area, FUA) 정보를 활용하여 커뮤니티를 도시 지역과 농촌 지역으로 구분하였다.

1-1. GHS-SMOD(Settlement Model) 자료로 커뮤니티의 정주지 유형을 4가지(도시 센터, 도시 클러스터, 농촌, 인구가 없는 농촌)로 구분한 뒤,[32] 도시

[32] GHS-SMOD는 'GHS BUILT-UP'(건조 지수) 레이어와 'GHS POP'(인구) 레이어를 종합하여 정주지 유형을 4가지로 구분한 자료이다. 각 유형에 대한 기술적인 용어로, 도시 센터는 High density cluster(HDC), 도시 클러스터(urban cluster)는 Low density cluster(LDC), 농촌(rural)은 Rural Area(RUR1), 인구가 없는 농촌은 Rural area with no population(RUR0)이다 (Pesaresi & Freire, 2016).

센터(urban center)에 속하는 커뮤니티는 도시 지역으로 지정하였다.

1-2. 도시 클러스터인 커뮤니티는 GHS-FUA(Functional urban area)의 기능적 도시권(FUA)에 속하면 도시 지역으로 배정하였다.[33] 기능적 도시권이란 해당 지역 인구의 15%가 도시중심지(urban centre)로 통근하는 지역을 의미한다(Schiavina et al., 2019). 이 과정은 개인정보보호를 위해 커뮤니티(DHS 조사구)의 좌표가 이동된다는 점을 고려하여 진행하였다.[34] 즉, 커뮤니티의 지점(point)에 맞는 SMOD 자료만으로 유형을 결정하기보단 면(Polygon) 형태인 FUA 자료로 도시 지역에 속하는지를 재확인하였다.[35]

둘째, 도시 지역 내에서 인구 규모와 건조 환경을 고려하여 주요 도시와 일반 도시를 구분한 뒤, 저소득층 주거지를 도시 슬럼으로 지정하였다.

2-1. 인구가 100만 명 이상인 기능적 도시권(FUA)에 속하면서[36] GHS-UCDB(Urban Centre Database) 자료의 도시 중심지(urban centre)에 있는 커뮤니티를 주요 도시(major urban)로, 그 외에 도시 지역 커뮤니티를 일반 도시(urban)로 구분하였다.[37] 100만 명 이상의 기능적 도시권이 없는 국가(부룬디)

---

[33] 이 단계는 도시 센터에는 적용하지 않고 도시 클러스터에만 적용했다. 일부 도시 센터는 기능적 도시권(FUA)이 없는 경우가 있지만, 도시 센터가 SMOD 자료에서 가장 높은 도시화 수준을 보여주는 유형이라는 점에서 바로 도시 지역 커뮤니티로 배정하였다.

[34] 도시는 0-2km, 농촌은 0-5km(1%의 농촌은 0-10km)의 거리까지 DHS 조사구의 무작위 좌표 이동(displacement 또는 geo-masked)이 적용된다(Burgert et al., 2013).

[35] DHS 조사구의 좌표 이동(displacement)과 GHS-FUA 자료가 격자 형태의 폴리곤 자료를 제공한다는 점을 고려하여, FUA 폴리곤에서 5km의 버퍼(Buffer)를 설정함으로써 폴리곤의 크기를 확대하고 경계를 곡선으로 만든 뒤, DHS 조사구 좌표와 중첩하였다(그림 5).

[36] 인구 기준이 100만 이상인 이유는 도시의 규모를 구분할 때 자주 사용되는 기준이기 때문이다. 인구 100만 이상의 도시를 UN-DESA (2019)는 중규모 도시(Medium-sized cities)로, UN-Habitat (2020)는 대도시(large cities)로 구분한 바 있다.

[37] UCBD의 도시 중심지(Urban centre)가 아닌 FUA의 기능적 도시권(FUA)의 인구 자료로 대도시의 인구를 판단한 이유는 도시가 기능적으로 영향을 미치는 범위의 인구를 기준으로

만 수도(부줌부라)의 기능적 도시권을 주요 도시로 지정하였다.[38]

2-2. UN-Habitat의 슬럼 정의와 OPHI(oxford poverty and human development initiative)의 다면적 빈곤 지수(multidimensional poverty index, MPI) 측정 지표를 바탕으로 도시 지역 내 슬럼 커뮤니티를 판별하였다. 아프리카 여러 국가의 도시 빈민이 여러 보건 문제를 겪고 있다는 점에서 그들의 커뮤니티를 별도의 정주지 유형으로 구분할 필요가 있다. 다만, 구득 가능한 자료를 고려하여 슬럼 가구를 결정하는 기준을 마련하였다(표 7). 본 연구는 안전한 식수, 개선된 위생 시설, 충분한 거주 면적, 적절한 주택 내구성, 적절한 생활수준으로 지표를 구성하였다. 이 5가지 지표 중에서 2가지 이상의 지표가 박탈되었으면 슬럼 가구로 지정하고, 슬럼 가구 비중이 75% 이상인 커뮤니티를 도시 슬럼으로 지정하였다.[39]

특정 도시의 규모를 측정하는 것이 적절하다고 보았기 때문이다. 한편, 이 과정에서도 DHS 조사구의 좌표 이동을 고려하여 도시 센터 폴리곤에서 2km 버퍼를 설정하여 크기를 확대하고 경계를 완만하게 하였다(그림 4). 2km는 DHS 도시 조사구의 좌표 이동 범위에 해당한다(Burgert et al., 2013).

[38] GHS-FUA 자료에서 확인한 부줌부라(Bujumbura)의 기능적 도시권의 인구는 937,371명으로 백만 명에 가깝기 때문에, 백만 이상의 다른 기능적 도시권과 유사하다고 보았다.

[39] 본 연구의 슬럼 기준은 UN-habitat의 정의(UN-Habitat, 2018)와 차이가 있다. 5가지 지표 중 1가지가 박탈되면 슬럼 가구로 지정한다는 UN-Habitat의 기준을 적용하면, 저소득국에 슬럼 가구의 비중이 상당히 커진다. 따라서 분석 범위의 빈곤 수준을 고려하여 다소 엄격한 기준을 적용하는 것이 도시 빈민의 보건 문제 분석에 적절하다고 보았다(Fink et al., 2014). 한편, UN-Habitat 문헌 중 슬럼가구 비중이 50% 이상이면 슬럼 커뮤니티로 지정한다는 문헌이 있으나, 슬럼 가구 비중이 고소득국과 저소득국을 다르게 설정될 수 있음을 지적하고 있다(UN-Habitat, 2008). 또한, 여러 문헌이 커뮤니티 특성보다는 슬럼 가구의 특성에 집중하고 있다(UN-Habitat, 2006, 2018). 본 연구에서 적용한 커뮤니티 내 슬럼 가구 비중에 대한 기준은 도시 내 슬럼 커뮤니티를 파악할 때 75% 기준을 적용한 문헌(Fink et al., 2014)을 참고하여 결정하였다.

[표 7] 슬럼 가구 지표

Indicator	Weight	Deprivation	Sub-indicator	Weight
Water	1/5	Non-safe drinking water or more than 30-minute walk to water source	- Safe drinking water[1]	1/10
			- Accessibility to water source	1/10
Sanitation	1/5	Unimproved or no sanitation facility or shared with others	- Improved sanitation facility[2]	1/10
			- Ownership of toilet	1/10
Living area	1/5	More than three people share the same room	- Sufficient living area	1/5
Housing	1/5	Inadequate housing material in any of the three components	- Adequate floor[3]	1/15
			- Adequate roof[4]	1/15
			- Adequate wall[5]	1/15
Living standards	1/5	Not own more than one of eight components and not own a car	- Adequate cooking fuel[6]	1/15
			- Ownership of electricity	1/15
			- Adequate assets[7]	1/15

주: 하위 지표의 기준은 UN-habitat의 슬럼 정의(UN-Habitat, 2018), OPHI의 다면적빈곤지수(MPI) 지표(Alkire et al., 2021), DHS 설문항목을 고려하여 결정하였다. 특히, UN-Habitat의 슬럼 가구 지표 중 거주 안전성이 있지만, 본 연구가 사용하는 인구보건조사에서 해당 내용을 확인할 수 없다. 따라서 OPHI의 다면적 빈곤지수(MPI)의 '생활 수준(Living Standards)' 차원에 속하는 6가지 요소 중 3가지(요리 연료, 전기, 자산)로 '생활 수준' 지표를 만들었다. 다면적 빈곤지수의 생활수준 차원에 속하는 6가지 요소 중 3가지(물, 위생, 주택)는 UN-habitat의 슬럼 가구 지표의 3가지 요소와 일치한다. 따라서 슬럼 가구 지표에 포함되지 않는 나머지 3가지 요소를 모아 '생활 수준' 지표를 구성하였다. 한편, 개선되지 않은 주택은 대부분 자연 재료를 사용한 경우이며(모래 바닥, 초가 지붕 등), 개선되지 않은 요리 연료도 대부분 자연 재료(숯, 나무, 짚 등)를 활용하는 경우이다.

[1] piped water, piped into dwelling, public tap, tube well or borehole, borehole with pump, protected well, protected spring, bottled water (if secondary source is also improved) or rainwater.

[2] flush toilet or latrine, ventilated improved pit, pit latrine with a slab, composting toilet.

[3] parquet or polished wood, vinyl or asphalt strips, ceramic tiles, cement, linoleum or rubber carpet.

[4] cement, stone with lime or cement, (burnt or unburnt) bricks with cement, cement blocks, wood planks or shingles, sheet metal.

[5] zinc or aluminum, calamine or cement fiber, ceramic or brick tiles, cement, roofing shingles, asbestos or slate roofing sheets, concrete slab.

[6] electricity, LPG, natural gas, biogas, petroleum or kerosene.

[7] radio, TV, telephone, computer, animal cart, bicycle, motorbike, or refrigerator

셋째, 농촌 지역의 정주지 유형은 5가지 정주환경 특성으로 다면적 도시성을 측정한 뒤 타운, 일반 농촌, 원격 농촌으로 구분하였다(표 8). 구체적으로 인구밀도(CIESIN, 2016), 건조 지수(Pesaresi et al., 2015), 야간 광도(NCEI, 2015), 접근성(Weiss et al., 2018) 등 4가지 지리정보를 활용하였다.[40] 인구밀도와 건조 지수(built-up index)는 커뮤니티의 도시성 파악에 활용되는 기본적인 요소이다(Dijkstra et al., 2021; Fish et al., 2020). 야간 광도는 내부 인프라 수준 또는 경제구조를 나타내고(Noor et al., 2008), 접근성은 커뮤니티가 외부와 연결되는 교통 인프라의 수준을 나타낸다(Weiss et al., 2018). 더불어, 국가별로 행정적으로 지정된 도시-농촌 구분을 추가하여 커뮤니티의 행정력과 국가별로 다른 인구학적 및 지리적 맥락을 반영하였다.

다면적 도시성을 계산한 방법은 다음과 같다. 최대-최소 정규화(min-max normalization)를 통해 5가지 정주환경 특성의 값의 범위를 0과 1 사이로 맞추고[41] 정규화 된 값을 합하여 다면적 도시성을 계산하였다. 도시-농촌 연속체 관점을 적용하여 연속형 점수로 계산하였기 때문에, 적절한 기준을 세워 정주지 유형을 구분해야 한다. 기존 문헌은 다양한 기준을 적용하고 있지만, 본 연구는 도시성과 백분위 순위를 분석하여 도시와 농촌의 특성이 구분되는 기준점을 찾았다.

---

[40] DHS Spatial Data Repository는 DHS 조사구의 좌표 이동(displacement)를 고려하여 4가지 지리정보의 원자료로부터 DHS 조사구별 지리정보 값을 계산하였다(Mayala et al., 2018). 본 연구는 DHS가 원자료에서 추출한 2차 자료를 이용하였다.

[41] 최대-최소 정규화는 모든 데이터의 값을 0과 1사이로 조정하는 척도법으로 다음과 같이 계산한다.

$$X_{\text{normalization}} = (\mathrm{X} - X_{min})/(X_{max} - X_{min})$$

도시까지의 소요 시간(travel time to the nearest city)은 최대-최소 정규화 이후, 1에서 빼 줌으로써 0에서 1로 갈수록 높은 도시성을 나타내도록 하였다.

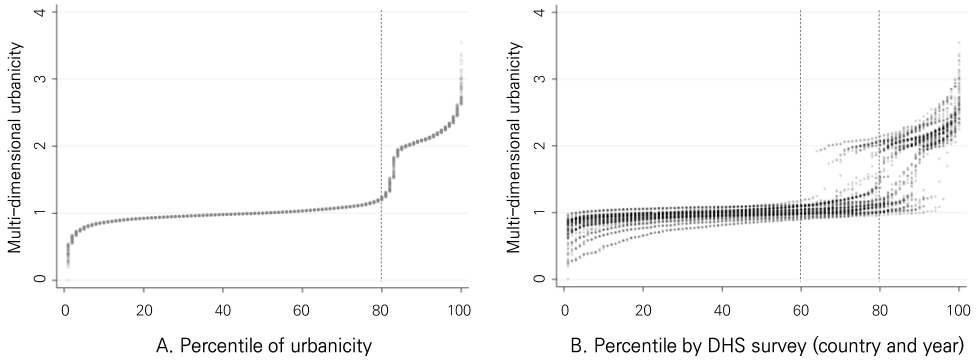
[표 8] 농촌 지역 커뮤니티의 다면적 도시성 측정 요소

Settlement environment		Data year,	Mean[1]
Component	Description (unit)	Source	(Std. d)
Population density	Number of people per square kilometer	2015, GWP v4[2]	0.05 (0.07)
Degree of built environment	Built-up index (0.00 (extremely rural)-1.00 (extremely urban))	2014, GHSL[3]	0.03 (0.07)
Night-time lights	The average nighttime luminosity (Composite cloud-free radiance)	2015, VIIRS(DNS)[4]	0.01 (0.05)
Travel time to the nearest city	The average time (minutes) to reach a high-density urban center	2015, MAP[5]	0.93 (0.09)
Administrative categorization	Official administrative urban-rural classification	Survey year, USAID DHS	0.17 (0.37)
Multi-dimensional urbanicity	Sum of normalized values of 5 components		1.19 (0.48)

주: 정주지 유형 구분은 분석 대상 DHS 조사구 중에서 좌표 자료와 5가지 정주환경 특성 정보를 확인할 수 있는 7,511개 조사구를 대상으로 진행하였다.

[1] 최대-최소 정규화로 구한 값의 기술통계(평균과 표준편차)이다.

[2] Gridded Population of the World, Version 4. [3] Global Human Settlement Layer. [4] Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (day/night band). [5] Malaria Atlas Project



[그림 4] 농촌 지역 커뮤니티의 다면적 도시성과 백분위 순위

주: 그래프 A에서는 농촌 지역 커뮤니티(DHS 조사구)의 다면적 도시성과 백분위 순위를 표현하였으며, 그래프 B에서는 다면적 도시성을 DHS 자료별(국가 및 연도별)로 나누어 다면적 도시성의 백분위를 구한 뒤 도시성과 백분위 순위를 표현하였다.

농촌 지역 커뮤니티들의 다면적 도시성 값을 백분위 순위로 나열한 결과, 하위 80%는 도시성이 1에 가깝지만, 80분위를 지나면서 도시성이 상승하였다(그림 4의 그래프 A). 이러한 급격한 변화는 유일하게 이분형으로 측정되는 행정적 도시-농촌 구분에 의한 것이다. 행정적으로 도시로 지정된 곳은 정주 환경의 여러 측면에서 농촌으로 지정된 곳과 차별성이 있으며 정책 지원과 자원을 많이 받을 가능성이 크다. 또한, 81분위 이후 도시성이 빠르게 상승하는 것으로 나타났다. 따라서 상위 20%를 도시성이 높은 정주지 유형으로 보았다.

국가별로 인구 및 면적 차이가 크고 DHS 자료 연도에 따라 표본 선정이 달라질 수 있기 때문에, DHS 조사별(국가 및 연도별)로 다면적 도시성의 백분위 순위를 확인하였다(그림 4의 그래프 B). 그 결과, 대부분 국가 및 연도에서 상위 20%가 높은 도시성을 보였다. 그런데 일부 국가 및 연도에는 60분위를 지나면서 행정적 도시에 속하는 커뮤니티가 존재했다.

따라서 DHS 자료별로 구한 백분위를 기준으로, 상위 20%를 타운(town),[42] 상위 21-40%를 일반 농촌(rural), 하위 60%를 원격 농촌(remote rural)으로 지정하였다. 이러한 기준점은 행정적 도시-농촌 구분에 영향을 받았다. 그러나 행정적 구분이 각 국가의 인구학적 특성(인구 규모 및 밀도)과 지리적 맥락(공간구조)을 반영한다는 장점을 고려하여(Beatriz et al., 2018; UN, 2017; Wineman et al., 2020) 이러한 기준점을 결정하였다.[43]

---

[42] 타운 유형은 국가별로 도시라고 지정한 곳이 많기 때문에(그림 4), 농촌 지역에 속하지만 도시 정주지라고 볼 수 있다. 따라서 사하라 이남 아프리카의 지리적 맥락을 고려하여 타운을 소도시(small city)라고 보았다(표 6).

[43] 원격 농촌이 60%를 차지하게 되어 세 정주지 유형 간 비율 차이가 크지만, 도시성이 크게 달라지지 않는 정주지를 비율만 고려하여 구분하는 것보다는 도시성의 유의미한 차이가 보이는 지점을 기준으로 구분하는 것이 적절하다고 판단하였다.

2) 변수 설정 결과 및 평가

변수는 연속형의 '도시성'과 이를 기준으로 나눈 범주형의 '정주지 유형' 두 가지이다. 변수 설정 결과, 원격 농촌, 일반 농촌, 타운, 주요 도시, 도시 슬럼, 일반 도시 순으로 많았다(표 9). 커뮤니티 단위로 도시 지역은 28.8%, 농촌 지역은 71.2%이었다. [그림 5]는 커뮤니티의 정주지 유형 구분 결과를 보여주는 지도이다.

도시성 변수의 내적 일관성(internal consistency)을 확인하고자, 연속형의 도시성 변수와 정주환경 특성 간 상관관계를 확인하였다. 그 결과, 인구밀도(0.56), 건조 지수(0.79), 야간 광도(0.60), 가까운 도시로의 이동시간(-0.43), 행정적 도시-농촌 구분(0.81) 모두 0.1% 유의수준에서 통계적으로 유의한 관계를 보여주었다.

[표 9] 정주지 유형 기술통계

Urbanicity (continuous)	Settlement type (categorical)	Community		Individual	
		N	%	N	%
	Urban region				
6	Major urban	1278.8	13.0	12431.8	9.2
5	Urban	641.5	6.5	6603.6	4.9
4	Urban slum	905.4	9.2	10502.2	7.8
	Rural region				
3	Town	1284.4	13.1	16352.4	12.2
2	Rural	1464.8	14.9	21804.0	16.2
1	Remote rural	4235.7	43.2	66881.3	49.7
	Total	9810.6		134575.3	

주: 통계량은 표집 가중치를 부여하여 계산하였다. 도시성(urbanicity) 열은 연속형 변수의 값이며, 정주지 유형(settlement type) 열은 도시성에 대응하는 범주형 변수의 이름이다. 도시 지역과 농촌 지역은 정주지 유형의 상위 범주로 정주지 유형에 속하지 않는다.

이어, 정주지 유형 간 정주환경 특성의 평균 차이를 일원분산분석(One-way ANOVA)으로 확인하였다. 분석 결과, 0.1% 유의수준에서 5가지 특성이 평균의 차이가 있었다. 도시성 변수는 여러 정주환경 특성을 아우르면서 정주지 유형별에 따라 달라지는 특성도 반영한다고 할 수 있다.

도시성 변수의 타당성을 확인하고자 변수 구축에 사용하지 않은 변수들과 도시성 변수 간 관계를 분석하였다. 우선, 한 커뮤니티의 주요 사회경제 특성이라 할 수 있는 평균 재산 및 모성 교육 수준을 DHS 자료로부터 계산한 뒤, 두 변수와 도시성의 상관관계를 확인하였다. 재산 수준(0.73)과 교육 수준(0.47) 모두 0.1% 유의수준에서 도시성과 양의 관계를 보여주었다.

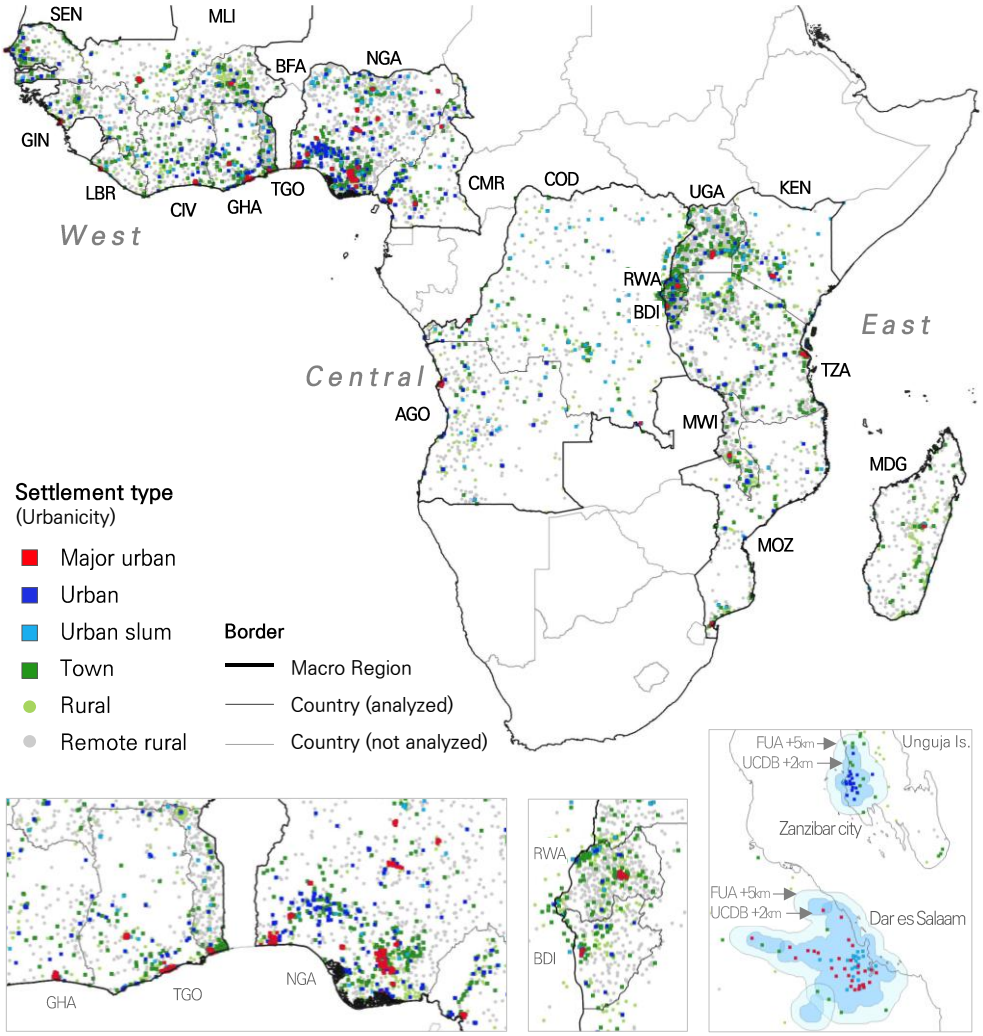
또한, 도시 지역의 3가지 정주지 유형은 행정적 도시-농촌 구분 변수(농촌은 0, 도시는 1)의 평균값이 0.95로 대부분이 행정적 도시에 속하였다.[44] 농촌 지역의 3가지 정주지 유형은 GHS-SMOD 값(도시 센터 3, 도시 클러스터 2, 농촌 1, 인구 없는 농촌 0)의 평균이 타운 0.78, 일반 농촌 0.09, 원격 농촌 0.0으로 큰 차이를 보였다.[45] 본 연구가 개발한 연속형의 도시성 변수와 범주형의 정주지 유형 변수는 일관성과 타당성이 있다고 볼 수 있다.

마지막으로 커뮤니티의 위성 이미지와 정주지 유형을 비교하였다. 대도시로 알려진 곳은 주요 도시로 지정되었으며, 도심 슬럼과 근교에 인접한 곳에 도시 슬럼이 많다. 농촌 중심지로 여겨지는 곳은 타운이 많고, 대도시권 또는 타운 인근에 일반 농촌이 집중되어 있다. 원격 농촌은 가장 넓은 면적을 차지한다. 이를 통해, 정주지 유형의 타당성을 재확인할 수 있다.

---

[44] 행정적 도시-농촌 구분은 도시 지역 커뮤니티의 도시성 측정에 사용하지 않았던 변수이다. 따라서 도시 지역 커뮤니티의 타당성을 확인할 수 있는 자료라고 볼 수 있다.

[45] GHS-SMOD 정주지 유형 체계는 농촌 지역 커뮤니티의 도시성 측정에 사용하지 않은 변수이다. 농촌 지역 커뮤니티의 타당성을 확인할 수 있는 자료라고 볼 수 있다.



[그림 5] 사하라 이남 아프리카의 정주지 유형 지도

주: 위의 지도는 분석 대상 10,029개 커뮤니티(DHS 조사구) 중에서 좌표 및 정주환경 특성 정보가 확보된 9,827개 커뮤니티를 포함한다. 오른쪽 아래의 지도는 GHS-UCDB의 도시센터는 2km, GHS-FUA의 기능적 도시권은 5km 반경의 버퍼를 설정한 결과의 예시를 보여준다. 탄자니아의 다르에스살람은 인구 5백만 이상 도시이며 급격한 도시화로 외연적 확산을 발생한 곳으로 주요 도시와 도시 슬럼이 분포한다. 반면, 스와힐리 해안의 중심지인 잔지바르 시티는 인구 백만 이하의 일반 도시가 대부분이며 도시 슬럼은 많지 않다.

[표 10] 정주지 유형별 정주환경 특성

	Population density	Built up index	Night time lights	Travel time	Admin. division	Wealth	Education
Urban region							
Major urban	8128.5	0.72	12.79	0.4	0.95	2.44	4.61
	(7582.5)	(0.26)	(11.08)	(1.5)	(0.22)	(0.67)	(0.44)
Urban	1222.7	0.41	5.45	3.2	0.95	2.33	4.33
	(2012.0)	(0.26)	(6.82)	(10.5)	(0.22)	(0.67)	(0.53)
Urban slum	3958.7	0.48	5.87	3.9	0.95	2.00	4.04
	(5845.3)	(0.31)	(6.83)	(17.5)	(0.23)	(0.56)	(0.84)
Rural region							
Town	478.9	0.06	0.85	52.7	0.78	1.92	3.43
	(590)	(0.08)	(2.13)	(96.8)	(0.41)	(0.61)	(0.97)
Rural	318.4	0.02	0.19	47.1	0.09	1.72	2.69
	(264.7)	(0.04)	(0.63)	(43.8)	(0.29)	(0.57)	(0.88)
Remote rural	132.2	0.00	0.02	131.6	0.00	1.55	2.20
	(138.3)	(0.01)	(0.08)	(136.8)	(0.00)	(0.5)	(0.82)
Total	1317.2	0.15	2.17	75.6	0.36	1.80	2.97
	(3725.3)	(0.28)	(5.79)	(114.8)	(0.48)	(0.64)	(1.20)

주: 기술통계는 '평균(표준편차)' 형태로 작성하였다. 커뮤니티별 재산과 교육은 가구별 재산 5분위와 모성 교육 수준(1=교육받지 못함, 2=초등 교육, 3=중등 교육, 4=고등교육)의 평균으로 계산하였다. 이외 5가지 정주환경 특성의 단위는 [표 9]에 정리된 단위와 동일하다.

정주지 유형별 특성은 다음과 같다. 주요 도시(major urban)는 모든 정주환경 특성에서 가장 높은 도시성을 보였으며 수도 또는 인구가 가장 많은 도시에 집중적으로 분포한다(그림 5). 일반 도시(urban)와 도시 슬럼(urban slum)은 유사한 도시성을 보여주지만, 도시 슬럼은 일반 도시보다 인구밀도가 2배 이상 높고 평균 가구 재산 및 모성 교육 수준은 더 낮다. 한편, 일반 도시는 도시권 밖에도 있다는 점에서 국토 전반에 분포하는 중규모 도시를 아우르는 유형이다(그림 5). 도시 슬럼도 주거 환경이 매우 열악한 비공식 주거지만 있는 것이 아니라 도심, 교내, 교외 등 다양한 도시 지역에 분포하는 저소득층

커뮤니티 유형을 의미한다고 볼 수 있다.

농촌 지역에 있는 정주지 유형들의 정주환경 특성은 도시 지역 유형들의 특성과 큰 차이를 보인다. 타운(town)은 인구밀도, 야간광도, 행정적 도시-농촌 구분에서 높은 도시성을 보여주는 데, 대도시권 인근에 밀집하기보다는 농촌 지역에 산재하는 소도시(small city)에 가깝다. 일반 농촌(rural)과 원격 농촌(remote rural)은 인구밀도와 접근성에서 큰 차이를 보인다. [그림 5]에서 알 수 있듯이 일반 농촌은 기능적 도시권 인근(교내 및 교외) 지역에 많으며, 원격 농촌은 접근성이 낮은 곳에 분포한다는 것을 알 수 있다.[46]

5. 윤리적 고려

본 연구는 2차 자료를 활용하여 분석하였으며, USAID의 DHS 자료에는 설문조사 참여자에 대한 식별자가 제거되어 있다. DHS 설문조사는 ICF 기관 생명윤리위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인을 취득한 후 진행되었다. 또한, 본 연구는 서울대학교 생명윤리위원회(IRB; Institutional Review Board)의 최종 심의면제 승인을 받았다(IRB No. E2104/002-007).

---

[46] 필자는 도시성이 가장 낮은 정주지 유형을 '원격 농촌'이라고 명명하였다. 그 유형은 다른 정주지와 접근성에서 큰 차이를 보이기 때문에 '원격(remote)'이라는 용어가 적절하다고 보았다. 정주지 유형 관련 문헌에서 도시성 및 도시화 수준이 가장 낮은 정주지를 지칭하는 용어로 자주 사용되기도 한다. 다만, 본 논문에서 원격 농촌은 분석 대상 DHS 조사구와 아동 표본 모두 40% 이상을 차지하는 정주지 유형이며(표 9) 공간적 범위도 넓다(그림 5). 즉, 본 논문에서 '원격 농촌'은 평범한 농촌 마을, 소규모 마을, 아주 작은 마을 등을 포괄하며(표 6) 외진(isolated) 마을 또는 벽지(오지)만을 의미하는 것은 아니다.

제4장 말라리아 감염에 미치는 도시성 효과

1. 분석 모형

첫 번째 연구 목적은 아동 개인의 말라리아 감염에 미치는 도시성의 효과를 대륙, 국가 및 거시지역 스케일로 나누어 분석하는 것으로 구체적인 연구 가설은 다음과 같다.

연구 가설 1.

정주지 유형의 도시성이 낮을수록 말라리아 감염 가능성이 높아질 것이다.

1-1. 사하라 이남 아프리카에서 정주지 유형의 도시성이 낮을수록 말라리아 감염 가능성이 높을 것이다.

1-2. 정주지 유형의 도시성과 말라리아 감염 가능성의 관계는 거시지역 및 국가별로 다를 것이다.

일반적으로 도시성이 높은 정주지에서 말라리아에 감염될 가능성이 낮아질 것으로 예상된다. 그러나 거시지역 및 국가별로 도시화 수준 및 도시환경에 차이가 크며 말라리아 유병률의 격차도 크기 때문에, 도시성과 말라리아 간 관계는 여러 공간 범위에 따라 달라질 수 있다. 따라서 우선적으로 다수준 로지스틱 회귀분석으로 정주지 유형과 말라리아 간 관계를 분석하여 연구가설 1-1을 검증하였다. 이어, 회귀분석과 메타분석을 결합하여 DHS 자료의 국가 및 연도별로 정주지 유형과 말라리아 간 관계를 비교 분석을 함으로써 연구가설 1-2를 검증하였다.

1) 다수준 로지스틱 회귀분석

정주지 유형의 도시성과 말라리아 감 관계를 분석하기 위해 다수준 로지스틱 회귀모형을 사용하였다. 종속변수는 말라리아 감염과 비감염으로 나뉘는 이분형 변수이며, 설명변수는 3개 수준(개인, 가구, 커뮤니티)으로 구성된다. 동일한 커뮤니티 또는 가구에 속한 아동은 유사한 환경에서 생활한다는 점을 고려하여 3개 수준의 임의절편모형(Random intercept model)을 사용하였다. 이 모형으로 2수준 가구 및 3수준 커뮤니티의 절편에 대한 임의효과(random effect)와 설명변수의 고정효과(fixed effect)를 분석하였다.

$$\mathrm{Logit}\{\Pr(y_{ijk}=1)\} = \beta_0 + \beta_1' x_{ijk} + \beta_2' x_{jk} + \beta_3' x_k + \varepsilon_{j(k)}^{(2)} + \varepsilon_k^{(3)}$$

$$\text{Where } \varepsilon_{j(k)}^{(2)} \sim N(0,\tau^2) \text{ and } \varepsilon_k^{(3)} \sim N(0,\gamma^2)$$

y_{ijk}는 k번째 커뮤니티, j번째 가구, i번째 아동의 감염 여부(비감염은 0, 감염은 1)를 나타내며 이항분포를 따른다. $\mathrm{Logit}\{\Pr(y_{ijk}=1)\}$은 말라리아 감염의 가능성을 로짓 형태로 나타낸 것이다.[47] x_{ijk}는 개인 수준 변수들의 벡터, x_{jk}는 가구 수준 변수들의 벡터, x_k는 커뮤니티 수준 변수들의 벡터이다. $\varepsilon_{j(k)}^{(2)}$은 $N(0,\tau^2)$를 따르는 k 커뮤니티의 j 가구의 임의 절편이고 $\varepsilon_k^{(3)}$은 $N(0,\gamma^2)$를 따르는 k 커뮤니티의 임의 절편이며, 이 두 항은 독립적이라고 가정한다. 설명변수들의 고정효과 β는 보정 오즈비(adjusted odds ratio, aOR)와 95% 신뢰구간(confidence interval, CI)으로 정리하였다.[48]

---

[47] 종속 변수는 $\ln(\Pr(y_{ijk}=1)/(1-\Pr(y_{ijk}=1)))$와 동일하다.

[48] 본 연구에서 분석 결과로 제시된 모든 오즈비는 보정 오즈비(aOR)이다.

각 수준에 대한 절편의 임의 효과는 급내상관계수(intraclass correlation coefficient, ICC)을 통해 파악하였다. 급내상관계수는 전체 분산 중에서 2수준 또는 3수준에 의해 설명되는 분산을 확인할 수 있는 추정치이다.

$$\rho_{(Household)} = \gamma^2/(\gamma^2 + \tau^2 + \pi^2/3)$$
$$\rho_{(Community,\ Household)} = (\gamma^2 + \tau^2)/(\gamma^2 + \tau^2 + \pi^2/3)$$

$\rho_{(Household)}$는 가구 수준이, $\rho_{(Community,\ Household)}$는 가구와 커뮤니티 수준의 분산이 전체 분산을 얼마나 설명하는지를 보여준다. $\pi^2/3\ (\cong 3.29)$는 로짓 스케일에서 1수준(개인) 오차항의 분산이다(Agresti, 2013; Delprato & Sabates, 2014; Hox et al., 2017).

2) 메타분석

메타분석에 사용한 효과 크기는 DHS 자료별(국가 및 연도별) 로지스틱 회귀분석으로 추정한 정주지 유형의 보정 오즈비(aOR)이다. 이때 가구 내 아동 수가 적은 국가들을 고려하여 2수준(개인, 커뮤니티) 모형으로 구성하고 주요 영향 요인을 통제하였다.

일반적으로 서로 다른 표본과 자료에서 독립변수의 효과가 동일하지 않은 경우에 확률효과모형(Random effects model)을 활용한다(Higgins et al., 2019). 본 연구는 국가 및 연도별(DHS 자료별) 분석에서 얻은 정주지 유형의 효과가 모두 다르다는 점에서 확률효과모형(Random effects model)을 적용하였다.[49]

[49] 여러 DHS를 활용한 메타분석 연구들은 표본의 이질성이 높다는 점에서 확률효과모형을 주로 사용해왔다(Assaf & Juan, 2020a; Florey & Taylor, 2016; Tusting et al., 2020).

국가 및 조사별 추정치의 통합 효과는 DL(DerSimonian and Laird) 추정치($\hat{\theta}_{DL}$)로 계산된다. 이 추정치는 각각 분석 결과에 가중치를 주고 이를 반영한 평균(weighted average)으로 계산되는 종합적인 통계량이다.

$$\hat{\theta}_{DL} = \frac{\sum_{i=1}^{N} w_i' \hat{\theta}_i}{\sum_{i=1}^{N} w_i'}$$

$$\text{where } w_i' = \frac{1}{SE\{\hat{\theta}_i\}^2 + \hat{\tau}^2} \; and \; SE\{\hat{\theta}_i\}^2 = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} w_i'}}$$

확률효과모형의 가중치(w_i')는 각 분석결과에 존재하는 변동성($SE\{\hat{\theta}_i\}^2$)과 서로 다른 분석결과 사이의 변동성($\hat{\tau}^2$)을 고려한다(Borenstein et al., 2021).

거시지역 및 국가별 비교 분석에는 Cochrane's Q 통계량과 Higgins' I^2 통계량을 활용하였다. Cochrane's Q 통계량은 χ^2 검정을 통해 개별 분석결과로 얻은 효과가 메타분석의 통합 효과와 얼마나 다른 지를 보여준다.[50]

$$\text{Q statistics} = \sum_{i=1}^{N} w_i \, (\beta_i - \beta_{pooled})^2 \; \sim \; \chi^2(k-1)$$

$$\text{Higgins' I}^2 = \frac{\text{Q statistics} - \text{degress of freedom}}{\text{Q statistics}} * 100\%$$

Q 통계량의 식에서 w_i는 i번째 분석결과의 가중치, β_i는 i번째 분석결과의 효과 크기(aOR), β_{pooled}는 통합 효과(DL 추정치)이다. Higgins' I^2는 이질성 수준을 정량화하는 통계량이다. 이는 표본오차가 아닌 이질성에 의해 발생하는 (추정치 내) 변동성(variability)의 비율을 보여준다(Higgins et al., 2019).[51]

---

[50] 이 검정의 귀무가설은 효과가 동질적이라는 것이다. 한편, 유의하지 않은 결과가 반드시 이질성이 없다는 증거는 아니기 때문에 0.1을 유의수준으로 사용한다(Higgins et al., 2019).

[51] 0%~40%는 이질성이 낮을 수 있으며, 30%~60%는 중간 정도의 이질성(moderate

2. 분석 자료

종속 변수는 5세 미만 아동의 말라리아 감염 여부이며, 독립 변수는 정주지 유형이다. 정주지 유형을 이분법으로 나누었을 때와 비교하기 위해 지역 더미 변수(도시 지역 및 농촌 지역)를 만들어 별도의 모형에 포함하였다. 종속 변수와 독립 변수의 기술통계는 [표 5]와 [표 9]에 정리하였다.

그 외 설명변수의 변수 설정과 기술통계는 [표 11]와 같다. 가구 수준의 주택 및 위생 변수는 설정하였으며, DHS Spatial Data Repository의 지리공간 공변량(Geospatial covariates) 자료를 활용하였다.[52]

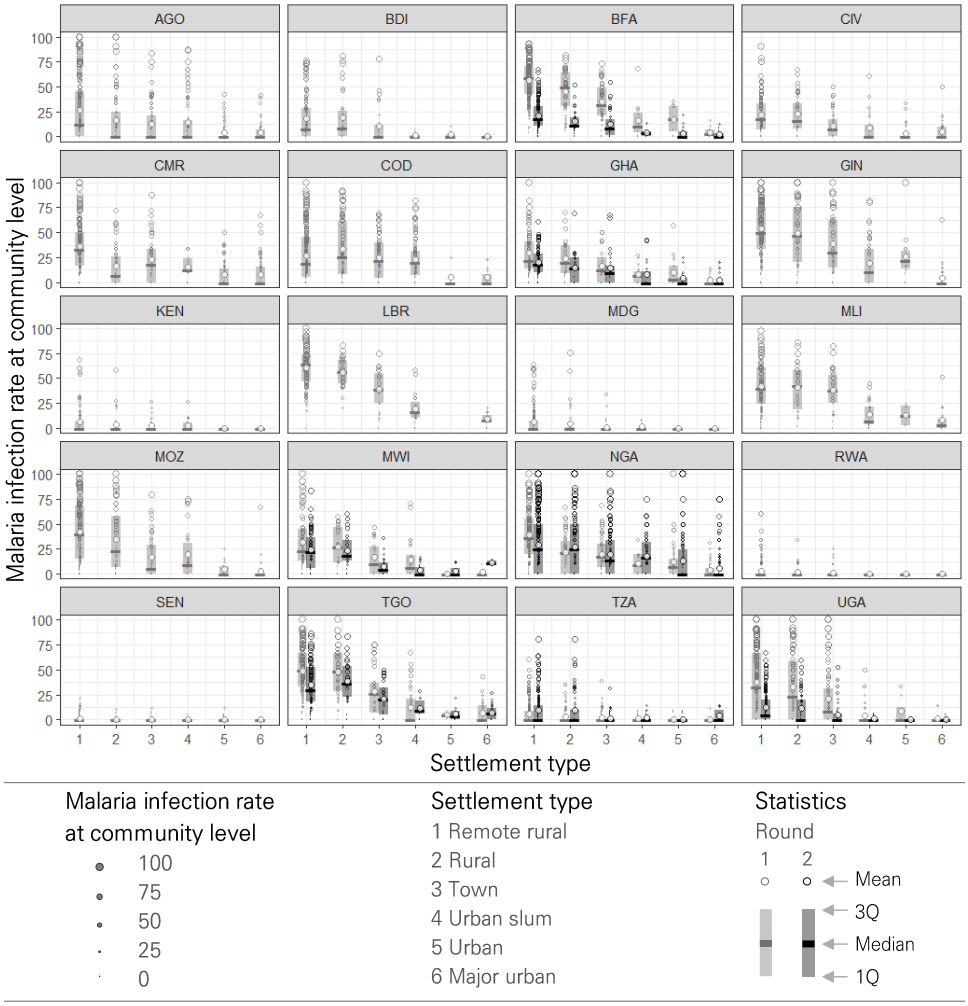
각 분석에 사용된 설명 변수는 다음과 같다. 대륙 스케일 모형(모든 국가를 포함한 모형)에서는 모든 설명변수를 포함하였다. 이때 국가 및 DHS 조사 시기(round)를 더미 변수로 추가하였다. 메타 분석을 위한 DHS 자료별(국가 및 연도별) 정주지 유형 변수의 효과 추정을 위해서 연령, 모기장 사용 여부, 가구 규모, 가구 재산 수준을 설명변수로 사용하였다. 개별 DHS 자료에서 특정 정주지 유형에 충분한 표본이 없는 경우에는 메타 분석에서 제외하였다.[53]

---

heterogeneity), 50%~90%는 중요한 수준의 이질성(substantial heterogeneity), 75%~100%는 상당한 이질성(considerable heterogeneity)을 의미한다(Higgins et al., 2019).

[52] 다만, 부르키나파소의 2개 DHS 조사와 세네갈 DHS는 커뮤니티별 고도 정보가 없기 때문에 SRTM 자료를 활용해 90m 격자 단위의 고도 자료를 활용하여 직접 계산하였다. 이때 DHS의 지리공간 공변량(Geospatial covariate) 계산 방식을 적용했다(Mayala et al., 2018). 즉, DHS 조사구의 좌표 이동(displacement)을 고려하여, 도시 조사구에는 2km, 농촌 조사구에는 10km의 반경을 준 뒤, 반경안에 들어온 모든 값들로 조사구의 고도를 추정하였다.

[53] 마다가스카르 DHS는 여러 정주지 유형에서 충분한 표본이 확보되지 않아 제외하였다.



[그림 6] 정주지 유형별 말라리아 감염 비율

주: 하나의 점은 하나의 커뮤니티(DHS 조사구)를 나타낸다. 한 커뮤니티의 말라리아 감염 수준(세로축)은 커뮤니티 내 감염 아동에서 전체 아동을 나눈 비율로 계산하였다. 정주지 유형(가로축)은 왼쪽에서부터 원격 농촌, 일반 농촌, 타운, 도시 슬럼, 일반 도시, 주요 도시 순으로 나열하였다. 기술통계는 평균, 중위 값, 1분위와 3분위를 표현하였다. 1차 및 2차 시기의 DHS 자료가 모두 있는 국가는 한 그래프 안에서 다른 색으로 표시하였다. [부록]의 국가별 정주지에 유형별 말라리아 감염 여부의 기초통계와 함께 보면, 말라리아 감염 수준이 높은 국가에서 정주지 유형별 감염 수준의 격차가 크다는 것을 알 수 있다.

[표 11] 분석 1단계 설명변수 기술통계

Individual and Household level			Cluster level		
Variable	N	%	Variable	N	%
Individual level			**Cluster level**		
age			Temperature (℃) (2015)		
0	15,783.1	11.4	〈 24	37,059.7	27.8
1	30,043.3	21.8	24 - 26	35,229.8	26.4
2	30,202.7	21.9	26 - 28.5	45,352.9	34.0
3	31,585.0	22.9	≥ 28.5	15,684.4	11.8
4	30,353.9	22.0	Precipitation (㎜) (Annual, 2015)		
Mosquito bed net			〈 800	31,785.5	23.8
No	28,505.1	20.7	800 - 1,000	27,027.3	20.3
Yes	109,458.9	79.3	1,000 - 1,400	42,196.3	31.6
Household level			≥ 1,400	32,432.1	24.3
Household size			Altitude (m) (Survey year)		
〈 5	31,781.4	23.0	〈 250	44,736.5	32.6
5 - 6	39,516.3	28.6	250 - 500	35,574.5	25.9
7 - 9	36,222.4	26.3	500 - 1000	17,264.9	12.6
≥ 10	30,448.2	22.1	1000 - 1500	27,856.8	20.3
Maternal education			≥ 1,500	11,704.9	8.5
No education	48,922.5	39.8	EVI (0-10,000) (2015)[1]		
Primary	45,854.3	37.3	〈 2,500	42,196.3	31.7
Secondary	24,558.4	20.0	2,500 - 3,000	23,550.2	17.7
Higher	3,709.0	3.0	3,000 - 3,500	23,216.7	17.4
Wealth index			≥ 3,500	44,363.7	33.3
Poorest	31,927.4	23.1	**Time**		
Poor	30,405.8	22.0	Time round		
Middle	27,714.2	20.1	1st	99,718.5	72.3
Rich	25,694.4	18.6	2nd	38,249.6	27.7
Richest	22,226.4	16.1			
Improved house (Wall, floor, roof)					
No	63,480.5	46.0			
Yes	74,473.2	54.0			
Improved sanitation (Toilet)					
No	98,667.0	71.5			
Yes	39,258.2	28.5			

주: 모든 통계량은 표집 가중치를 부여하여 계산하였다. 회귀분석 시, 각 변수별로 첫 번째 행에 있는 범주가 참조 범주(참조 집단)이다. EVI는 Enhanced Vegetation Index이다.

3. 분석 결과

1) 말라리아 감염과 정주지 유형의 관계

다수준 로지스틱 회귀분석 결과, 5세 미만 아동이 도시성이 높은 정주지에 거주할수록 말라리아 감염의 확률이 낮아졌다. 이는 개인, 가구, 커뮤니티 수준의 변수는 물론 국가와 DHS 조사 시기를 통제한 모형의 분석 결과이다. 모형 1의 분석 결과는 농촌 지역 대비 도시 지역의 감염 확률이 낮다는 것을 보여주며, 정주지 유형 변수를 포함하는 모형 2의 분석 결과는 도시성이 높은 정주지 유형일수록 원격 농촌 대비 감염 오즈비가 낮아진다는 것을 보여준다.

두 번째 모형의 분석 결과에서 원격 농촌 대비 각 정주지 유형이 얼마나 말라리아 감염 가능성이 얼마나 낮아지는지 알 수 있다. 주요 도시와 일반 도시의 오즈비는 원격 농촌과 감염 확률의 큰 격차를 보였다. 도시 슬럼의 원격 농촌 대비 감염 오즈비는 도시 지역의 다른 두 유형의 오즈비보다 높다. 농촌 지역 유형에서도 도시성이 높은 정주지에서 오즈비가 낮았다.

설명변수의 분석 결과는 다음과 같다. 아동 연령이 높을수록, 모기장을 사용하지 않을수록, 가구 규모가 클수록 오즈비가 높아졌다. 모성 교육 수준과 가구 재산 수준은 높아질수록, 개선된 주택 및 위생 시설을 사용하는 경우 오즈비는 낮았다. 커뮤니티 수준의 자연지리 특성 분석 결과, 기온은 28.5도 이상, 고도는 1,000m 이상일 때 참조 범주 대비 오즈비가 낮았다. 또한, 강수량은 900㎜ 이상, 식생 지수는 3,000 이상일 때 참조 범주 대비 오즈비가 높았다.

한편, 급내상관계수(ICC)는 가구 수준(0.63) 및 커뮤니티와 가구 수준(0.31)이 모형의 전체 분산에서 많은 부분을 설명하고 있음을 보여준다.

[표 12] 다수준 로지스틱 회귀분석 결과

		Model 1		Model 2	
		OR	95% CI	OR	95% CI
Fixed effect					
Community level					
Urbanicity	Remote rural			1 (ref)	
(6 Settlement type)	Rural			0.83*	0.72 - 0.96
	Town			0.48***	0.41 - 0.56
	Urban slum			0.41***	0.33 - 0.51
	Urban			0.20***	0.15 - 0.26
	Major urban			0.13***	0.10 - 0.18
Region (2 types)	Rural region	1 (ref)			
	Urban region	0.32***	0.27 - 0.37		
Individual level					
Age	0	1 (ref)		1 (ref)	
	1	1.79***	1.60 - 2.02	1.79***	1.60 - 2.02
	2	2.93***	2.60 - 3.29	2.92***	2.60 - 3.29
	3	3.78***	3.36 - 4.25	3.79***	3.36 - 4.26
	4	4.36***	3.87 - 4.92	4.36***	3.87 - 4.92
Mosquito bed net	No	1 (ref)		1 (ref)	
	Yes	0.88**	0.81 - 0.95	0.87**	0.8 - 0.94
Household level					
Household size	〈 5	1 (ref)		1 (ref)	
	5 – 6	1.04	0.95 - 1.13	1.04	0.95 - 1.13
	7 – 9	1.10*	1.01 - 1.20	1.10*	1.00 - 1.20
	≥ 10	1.32***	1.19 - 1.46	1.3***	1.18 - 1.44
Maternal education	No education	1 (ref)		1 (ref)	
	Primary	0.82***	0.75 - 0.89	0.83***	0.77 - 0.9
	Secondary	0.54***	0.48 - 0.60	0.55***	0.50 - 0.62
	Higher	0.33***	0.25 - 0.43	0.35***	0.27 - 0.46
Wealth index	Poorest	1 (ref)		1 (ref)	
	Poor	0.82***	0.75 - 0.9	0.83***	0.76 - 0.91
	Middle	0.53***	0.48 - 0.59	0.55***	0.50 - 0.61
	Rich	0.39***	0.34 - 0.44	0.42***	0.37 - 0.48
	Richest	0.16***	0.13 - 0.19	0.18***	0.15 - 0.23
Improved house	No	1 (ref)		1 (ref)	
(Wall, floor, roof)	Yes	0.90*	0.82 - 0.98	0.90*	0.83 - 0.99
Improved Sanitation	No	1 (ref)		1 (ref)	
	Yes	0.86**	0.79 - 0.94	0.87**	0.80 - 0.95

(Continued)

Community level					
Temperature (℃)	〈 24	1 (ref)		1 (ref)	
(2015)	24 - 26	1.02	0.87 - 1.20	1.04	0.88 - 1.22
	26 - 28.5	0.94	0.76 - 1.17	0.93	0.75 - 1.16
	≥ 28.5	0.57***	0.43 - 0.76	0.54***	0.41 - 0.72
Precipitation (㎜)	〈 800	1 (ref)		1 (ref)	
(Annual, 2015)	800 - 1,000	1.43***	1.19 - 1.72	1.44***	1.20 - 1.72
	1,000 - 1,400	1.72***	1.42 - 2.08	1.75***	1.44 - 2.12
	≥ 1,400	1.24†	0.98 - 1.57	1.31*	1.04 - 1.66
Altitude (m)	〈 250	1 (ref)		1 (ref)	
(Survey year)	250 - 500	1.22*	1.05 - 1.42	1.12	0.96 - 1.30
	500 - 1000	1.11	0.91 - 1.35	1.03	0.85 - 1.26
	1000 - 1500	0.90	0.70 - 1.15	0.81†	0.63 - 1.03
	≥ 1,500	0.06***	0.04 - 0.09	0.06***	0.04 - 0.09
EVI (Enhanced	〈 2,500	1 (ref)		1 (ref)	
Vegetation Index)	2,500 - 3,000	1.12	0.93 - 1.35	1.04	0.86 - 1.26
(2015)	3,000 - 3,500	1.80***	1.47 - 2.2	1.65***	1.34 - 2.02
	≥ 3,500	1.92***	1.54 - 2.4	1.75***	1.40 - 2.19
Time					
Time round	1st round	1 (ref)		1 (ref)	
	2nd round	0.37***	0.32 - 0.42	0.37***	0.32 - 0.42
Random effect					
Household level					
γ^2: variance (SE)			2.82(0.15)		2.82(0.15)
ρ: ICC (household)			0.63		0.63
Community level					
τ^2: variance (SE)			2.74(0.11)		2.70(0.11)
ρ: ICC (Community & household)			0.31		0.31
Model fitness					
Log (pseudo) likelihood			-40,245		-40,190
Wald $\chi 2$			3,466***		3,502***
Sample					
Number of individuals (Obs.)			122,282		122,282
Number of households			80,846		80,846
Number of clusters			9,666		9,666
Number of total surveys			27		27

주: 모든 모형은 국가를 통제한 상태에서 분석하였다.

† p〈.1, * p〈.05, ** p〈.01, *** p〈.001

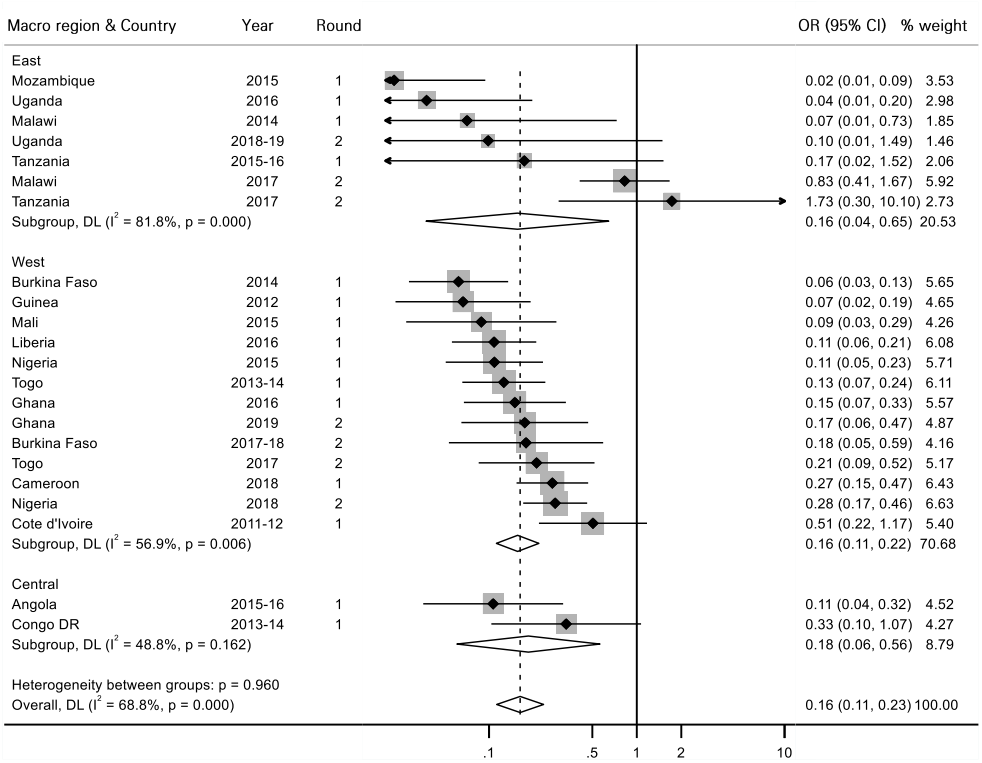
2) 국가 및 거시지역별 말라리아 감염과 정주지 유형의 관계

메타분석 결과, 정주지의 도시성이 높을수록 통합된 말라리아 감염 오즈비가 낮아지는 한편, 일부 정주지 유형에서 국가별 및 거시지역별 도시성 효과에 이질성이 존재하는 것으로 나타났다. 타운을 제외한 모든 정주지 유형에서 통합된 말라리아 감염 오즈비에 DHS 자료별 이질성이 유의하였는데, 이질성을 나타내는 Higgins' I^2 통계량이 모두 50% 이상이었다. 또한, 메타 분석으로 추정한 일반 도시와 타운의 거시지역별 종합 효과는 일반 도시와 타운 유형에서 유의한 이질성이 있었다.

도시 지역의 정주지 유형별 메타분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 원격 농촌 대비 주요 도시의 종합 효과는 0.16(95% CI: 0.11-0.23)로 통계적으로 유의하였다. 거시지역별 이질성은 통계적으로 유의하지 않았지만, 동아프리카 국가들의 감염 오즈비의 신뢰구간이 다른 거시지역 국가들의 신뢰구간보다 길다는 차이가 있다(그림 7). 또한, 높은 수준의 DHS 자료별 이질성이 확인되었는데, Higgins' I^2 통계량이 68.8%였다. 둘째, 일반 도시의 원격 농촌 대비 종합 효과는 0.24(95% CI: 0.18-0.33)이었다. 거시지역별 이질성은 유의하였는데 서아프리카의 오즈비가 상대적으로 높았다(그림 8). DHS 자료별 이질성도 유의하게 높았으며 Higgins' I^2 통계량이 57.4%였다. 셋째, 도시 슬럼의 원격 농촌 대비 종합 효과는 0.33(95% CI: 0.24-0.44)이었다. 거시지역별 이질성은 유의하지 않았지만, 높은 수준의 DHS 자료별 이질성이 확인되었는데, Higgins' I^2 통계량이 67.2%였다.

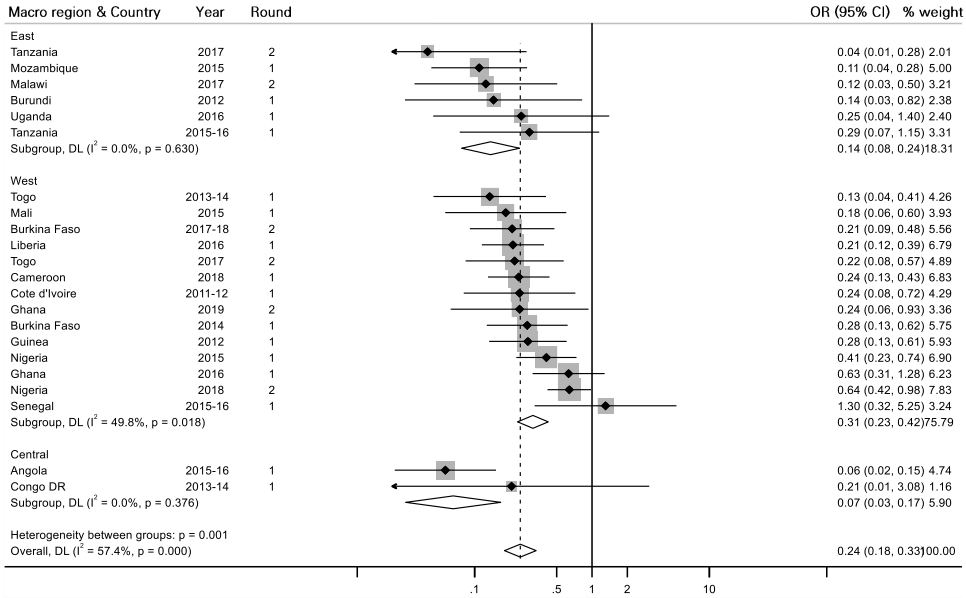
농촌 지역의 메타 분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 타운의 원격 농촌 대비 종합 효과는 0.57(95% CI: 0.50-0.65)이었다. 거시지역 이질성은 유의했는데 서아프리카보다 동아프리카에서 원격 농촌 대비 타운의 감염 오즈비가 낮

았다(그림 10). 타운은 DHS 자료별 이질성이 통계적으로 유의하지 않은 유일한 정주지 유형이었다. 이는 각 거시지역 안에서는 유사한 효과를 보여주지만, 거시지역별로는 다른 효과를 보여준다는 것을 의미한다. 둘째, 일반 농촌의 원격 농촌 대비 종합 효과는 0.82(95% CI: 0.71-0.94)였다. 일반 농촌은 거시지역별 이질성이 유의하지 않았으며 DHS 조사별 이질성은 유의하였다.

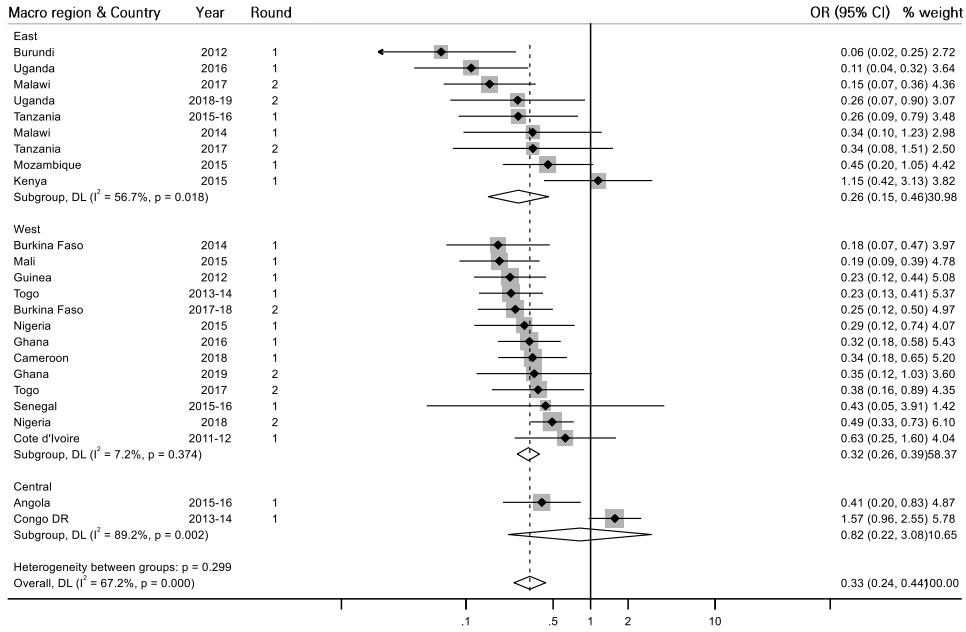


[그림 7] 주요 도시 메타분석 결과

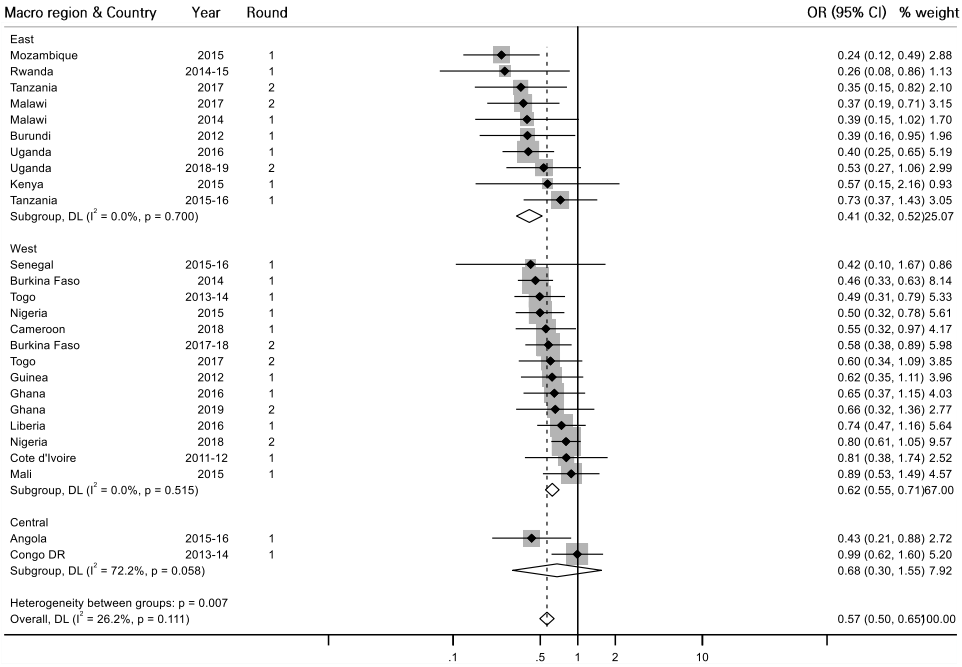
주: 모든 메타분석의 참조 범주 원격 농촌이다. 메타분석은 거시지역별 하위 그룹 분석(subgroup analysis)을 함께 진행하였으며, 위에서부터 동부, 서부, 중부 순서로 나열하였다. 각 거시지역 내에서는 보정 오즈비(aOR)가 낮은 순서대로 국가 및 연도를 나열하였다. 각 DHS 조사별 오즈비 추정치의 가중치는 회색 박스의 크기로 표현된다. 오즈비의 95% 신뢰구간은 가로 막대와 마름모의 가로 길이이며, 1을 포함하지 않으면 통계적으로 유의한 효과가 있는 것으로 판단한다.



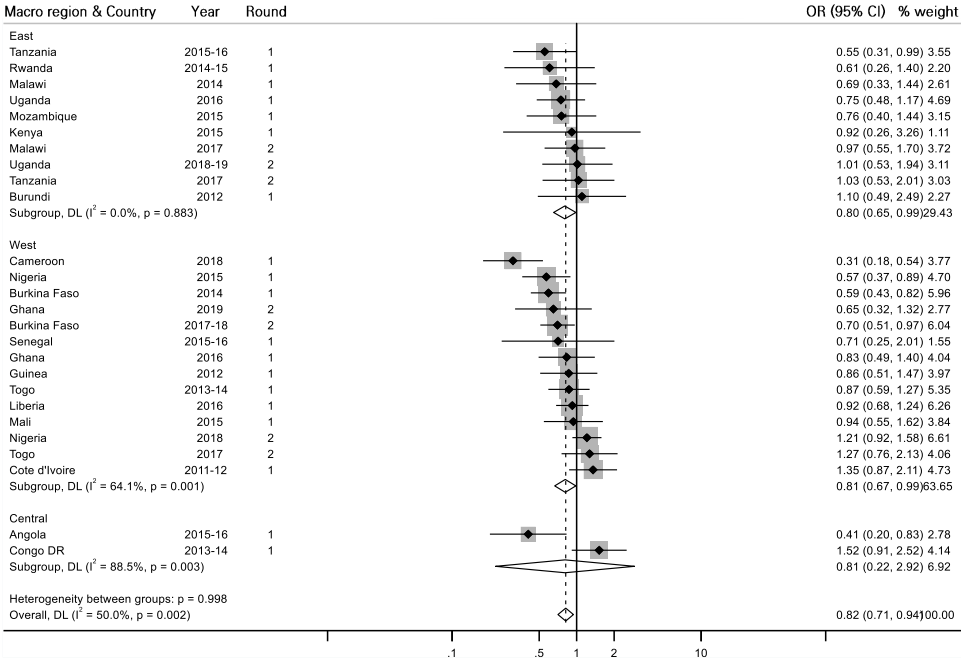
[그림 8] 일반 도시 메타분석 결과



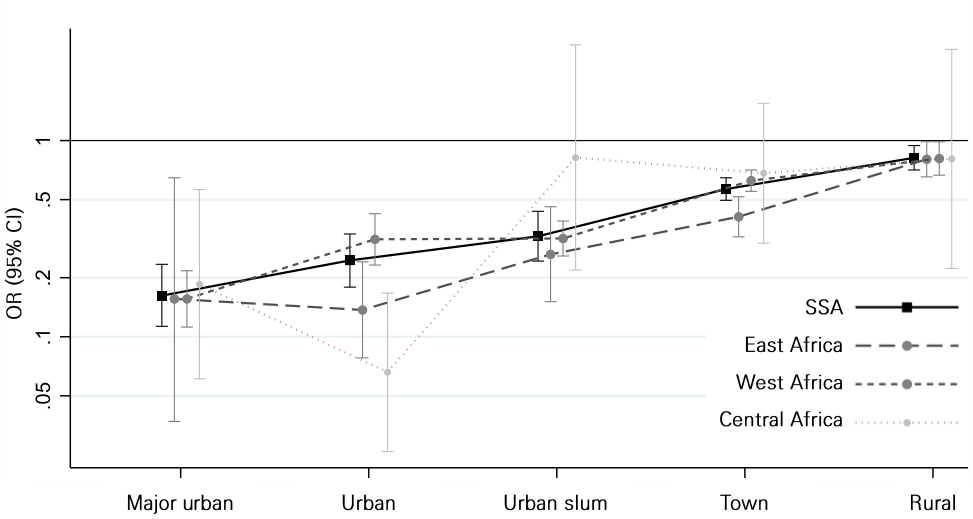
[그림 9] 도시 슬럼 메타분석 결과



[그림 10] 타운 메타분석 결과



[그림 11] 일반 농촌 메타분석 결과



[그림 12] 거시지역별 말라리아 감염과 정주지 유형의 관계

주: 메타 분석의 하위그룹 분석에서 얻은 DL 추정치(오즈비)를 신뢰구간과 함께 표시한 그래프이다. 각 거시지역의 정주지 유형별 오즈비의 참조 범주는 원격 농촌이다. 오차막대는 로그 스케일(log scale)로 변환하였다. 각 정주지 유형별로 왼쪽에서부터 전체 조사, 동아프리카, 서아프리카, 중부 아프리카 순서로 나열하였다. DHS 자료의 표본이 적은 중부 아프리카는 통계적 유의성이 낮아 연한 색으로 표현하였다.

거시지역별 분석을 요약하면 동아프리카, 서아프리카의 원격 농촌 대비 감염 오즈비(종합 효과의 크기)는 도시성이 높은 정주지 유형일수록 낮아졌다. 다만, [그림 12]에서 동아프리카는 서아프리카보다 도시 지역 정주지 유형에서 전반적으로 더 낮은 오즈비와 더 긴 신뢰구간을 보여준다. 이는 동아프리카의 국가들 내에서도 3개 도시 지역 유형(주요 도시, 일반 도시, 도시 슬럼)에 대한 말라리아 감염 확률의. 이질성이 크다는 것을 다시 보여준다. 또한 타운을 제외한 모든 유형에서 DHS 조사별 이질성이 크다는 것에서 정주지 유형과 말라리아 감염 간 관계는 공간 범위에 따라 다르다는 것을 확인할 수 있다.

제5장 말라리아 유병률에 미치는 도시성의 공간적 효과

1. 분석 모형

두 번째 연구 목적은 커뮤니티의 말라리아 유병률에 미치는 도시성의 공간적 효과를 실증하는 것으로 구체적인 연구 가설은 다음과 같다.

연구 가설 2.

커뮤니티의 도시성이 말라리아 유병률에 미치는 공간적 효과가 있을 것이다.

2-1. 주변 커뮤니티의 도시성이 높을수록 특정 커뮤니티의 말라리아 유병률이 낮아질 것이다.

2-2. 도시성과 말라리아 유병률 간 관계는 커뮤니티별로 다를 것이다.

도시와 인접한 커뮤니티는 보건 시설과 서비스 접근성이 높고 모기 서식에 불리한 환경일 수 있어 말라리아 유병률이 낮을 수 있다. 반대로, 인적이 드문 농촌 또는 우림에 속한 커뮤니티는 접근성이 낮고 모기가 많아 말라리아 유병률이 높을 수 있다. 따라서 도시성의 파급효과(spillover effect)가 있을 것이라는 연구가설 2-1을 설정하고 공간회귀분석으로 이를 검증하였다.

지역 및 커뮤니티별로 말라리아 유병률과 도시성의 이질성이 커서 도시성과 유병률 간의 관계가 미시적으로 달라질 수 있다. 1단계 분석 결과에서도 말라리아 감염과 도시성의 관계가 국가별로 다르게 나타났다. 이에 지리가중회귀분석으로 말라리아 유병률에 미치는 도시성의 국지적 효과(local effect), 즉 커뮤니티별 효과를 분석하여 연구가설 2-2를 검증하였다.

1) 공간회귀분석

커뮤니티의 말라리아 유병률에 미치는 도시성의 파급효과는 공간회귀모형을 활용하여 분석하였다. 말라리아 유병률과 도시성은 인접 지역 간 값이 유사한 공간적 자기상관성(spatial autocorrelation)을 지닐 수 있다는 점에서[54] 공간계량모형으로 말라리아에 미치는 도시성의 효과를 분석하였다. 공간회귀모형의 종류는 다양하기 때문에, 포괄적인 모형에서 출발하여 여러 모형을 검토하여 분석 목적에 맞는 모형을 설정하였다.

$$Y = \rho WY + \alpha I_N + X\beta + WX\theta + u$$
$$u = \gamma Wu + \varepsilon$$

위의 모형은 GNS 모형(General nesting spatial model)이다. WY와 WX는 각각 인접 커뮤니티의 종속변수와 독립변수의 관측치이며, Wu는 인접 커뮤니티의 오차항이다. ρ, θ, γ은 각 항의 공간적 효과이다. GNS 모형에서 추정해야 할 공간적 효과를 줄이면서 여러 모형을 만들 수 있다.[55] 모형을 설정하는

---

[54] 말라리아 유병률과 도시성의 공간적 자기상관성은 Global Moran' I(전역적 모란 지수)로 실증하였다. 이 통계량은 값이 클수록 공간적 자기상관성이 높다는 것(즉, 유사한 값이 군집되어 있다는 것)을 의미한다. 통계량의 식은 아래와 같다.

$$Global\ Moran'I = \frac{N\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}(Y_i - \overline{Y})(Y_j - \overline{Y})}{(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij})\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \overline{Y})^2}$$

i 와 j 는 커뮤니티를 의미하며, n은 총 커뮤니티의 수이다. w_{ij}는 커뮤니티 i 와 j 간에 존재하는 공간 가중치이다. 공간가중행렬의 가중치는 커뮤니티 간 거리 제곱의 역수로 구축하였으며, 이는 공간회귀모형에 적용한 방식과 같다. Y는 말라리아 유병률과 도시성이다.

[55] GNS 모형에서 θ=0이면 SAC(spatial autoregressive combined model) 모형, γ=0 이면

방법은 다양하지만 본 연구는 분석 목적을 고려하여 모형을 설정하였다. 본 분석의 목적은 말라리아의 전염성을 통제한 상태에서 도시성의 파급효과를 파악하는 것이다. 따라서 종속변수와 독립변수의 공간적 효과를 추정하는 공간더빈모형(spatial durbin model, SDM)을 우선적으로 분석하였다.

$$Y = \rho WY + \alpha I_N + X\beta + WX\theta + \varepsilon$$

위의 식으로 SDM을 분석한 후, 단순한 모형의 분석 결과와 비교하여 적절한 모형을 선택하는 순서로 분석을 진행하였다.[56] 단순한 모형으로는 종속변수의 공간적 효과(ρ)만 분석하는 공간자기회귀모형(spatial autoregressive model, SAR)과 오차항(누락된 설명변수)의 공간자기상관(γ)을 통제하는 공간오차모형(spatial error model)을 활용하였다. 이후, 각 모형의 우도(가능도)에 유의한 차이를 검증해주는 우도비 검정(Likelihood Ratio test, LR test)으로 가장 적합한 모형을 파악하였다.[57] 또한 공간적 효과를 고려하지 않는 최소자승 회귀모형(Ordinary Least Squares, OLS)을 추가하여 다른 모형과 비교하였다. 요약하면 4가지 모형

SDM(spatial durbin model), ρ=0 이면, SDEM(spatial durbin error model), γ=0, θ=0 이면, SAR(spatial autoregressive model) 또는 SLM(spatial lag model), ρ=0, γ=0 이면, SLX(spatial lag of X model), ρ=0, θ=0 이면, SEM(spatial error model)이 된다. 만약 공간적 효과가 모두 0인 경우(즉, ρ=0, θ=0, γ=0)는 OLS 모형과 같다.

[56] 공간회귀모형을 설정하는 절차는 크게 상향식 접근과 하향식 접근으로 나눌 수 있다. 본 분석은 복잡한 모형(SDM)을 분석한 뒤 상대적으로 단순한 모형(SAR, SEM)과 비교하여, 적절한 모형이 무엇인지 판단하는 하향식 접근법을 적용하였다(LeSage & Pace, 2009).

[57] LR 검정의 귀무가설과 절차는 다음과 같다. SDM와 SAR를 비교하는 경우, 귀무가설을 H_0: θ=0로 설정하고 이 가설이 기각되면 SDM으로 결정한다. SDM과 SEM를 비교할 때는 귀무가설을 H_0: θ=- $\beta\rho$ (θ+ $\beta\rho$ =0)로 설정하고 이 가설 기각되면 SDM으로 결정한다. 반대로, LR 검정의 귀무가설을 기각하지 못하면 더 단순한 모형으로 추정하게 된다.

(SDM, SAR, SEM, OLS)을 분석하여 가장 자료를 잘 설명하는 모형을 찾고 주요 변수의 공간적 효과(말라리아의 전염성, 도시성의 파급효과)를 해석하였다.

SDM의 추정치를 해석할 때는 공간상관계수(ρ, θ)를 그대로 해석하기보다는 종속변수에 영향을 미치는 독립변수의 직접효과와 간접효과를 살펴보는 것이 중요하다(Elhorst, 2010). 주요 공간계량경제학 문헌들(Elhorst, 2014; LeSage & Pace, 2009)은 이 효과들을 파악할 수 있는 방법을 제시하였다. 우선, 앞서 제시한 SDM 식을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$Y = (I - \rho W)^{-1}(X\beta + WX\theta) + R$$

위의 식[58]에 기대값을 취하고 k번째 설명변수에 대하여 편미분을 계산하면 $(I - \rho W)^{-1}(\beta_k + W\theta_k)$이다. 이 행렬에서 대각 원소가 직접효과, 비대각 원소가 간접효과(파급효과)이며 두 효과를 합한 것이 총효과이다(Elhorst, 2014).

공간가중행렬(spatial weight matrix, W)은 커뮤니티의 좌표 간 거리를 활용하는 거리척도로 구축하였다. 이는 거리에 따라 커뮤니티 간 상호작용의 강도(공간적 가중치)가 달라지는 현상을 반영한 것이다. 거리조락함수(distance-decay function)는 거리 제곱의 역수($w_{ij} = 1/(d_{ij})^2$)로 설정하였다.[59] 한편, 공간회귀분석 시 최소자승법(OLS)으로 추정하면 편의(bias)가 발생할 수 있기 때문에 최대우도추정법(Maximum likelihood estimation)을 활용하였다.

---

[58] SDM 식에서 ρWY를 좌항으로 옮긴 후 정리한 것이다. R은 절편과 오차항을 포함한다.

[59] 일반적으로 좌표 자료가 있는 경우에 인접성 척도(contiguity measure)보다는 거리척도를 활용한다(Anselin, 1988). 거리조락함수의 종류는 다양하지만 멱함수(power function) 형태의 함수를 활용하였다. 거리에 제곱을 하면 제곱을 하지 않을 때보다 인접 지역의 범위가 엄격하게 제한된다. 한편, 공간가중행렬을 구축할 때 행표준화(row-standardization)로 행의 합이 1이 되도록 함으로써 모형 간 비교와 해석이 용이하도록 하였다.

2) 지리가중회귀분석

커뮤니티의 말라리아 유병률에 미치는 도시성의 커뮤니티별 효과는 지리가중회귀분석으로 추정하였다.[60]

$$Y_i = \beta_0(\mathrm{u}_i, \mathrm{v}_i) + \sum_{k=1}^{p} \beta_k(\mathrm{u}_i, \mathrm{v}_i) X_{ik} + \epsilon_i$$

$$\hat{\beta}(\mathrm{u}_i, \mathrm{v}_i) = (X^T W(\mathrm{u}_i, \mathrm{v}_i) X)^{-1} X^T (\mathrm{u}_i, \mathrm{v}_i) Y$$

위의 지리가중회귀식에서 i는 커뮤니티, u_i와 v_i는 커뮤니티의 좌표이다. 변수 k의 회귀계수인 $\hat{\beta}_k(\mathrm{u}_i, \mathrm{v}_i)$는 가중회귀최소제곱(weighted least square)에 의해 커뮤니티별로 추정되기 때문에 공간가중행렬($W(\mathrm{u}_i, \mathrm{v}_i)$)을 구축하는 것이 중요하다(Brunsdon et al., 2002; Fotheringham et al., 2003). 공간가중행렬은 가우시안 함수(Gaussian function)을 활용하여 구성하였으며 식은 아래와 같다.

$$W_{ij} = \exp[-(d_{ij}/b)^2/2]$$

d_{ij}는 커뮤니티 i와 j사이의 유클리드 거리이며, b는 대역폭(bandwidth)이다. 여기서 대역폭은 관찰된 값과 추정된 값을 최소화하는 교차검증(cross validation, CV) 방식으로 적정 대역폭을 설정하였다.

모든 공간계량모형에 대하여 AIC(Akaike information criterion)와 잔차제곱합(residual sum of squares, RSS)을 구하여 모형의 적합도를 비교하였다.

---

[60] 공간회귀분석은 독립변수의 계수가 하나인 전역적 모형(Global Model)이지만, 지리가중회귀분석은 위치에 따라 추정하는 계수가 달라지는 국지적 모형(Local Model)이다.

2. 분석 자료

2단계 분석의 종속 변수는 2015년 커뮤니티의 2-10세 아동의 말라리아 유병률($PfPR_{2-10}$)이다. 독립변수는 연속형으로 설정한 도시성으로, 1(원격 농촌)과 6(주요 도시) 사이의 값을 가진다. 그 외 설명변수는 강수량, 고도, 식생 등 3가지 자연지리 특성이다. 1단계 분석에 포함되었던 기온은 고도와 높은 상관관계를 보여 설명변수에서 제외하였다.[61] 2단계 분석은 커뮤니티 수준의 변수로만 구성되기 때문에, 가구 수준의 주요 요인인 모성 교육 수준과 가구 재산 변수를 통제하기 위해서 커뮤니티별 평균을 값을 사용해야 한다. 그러나 두 변수는 도시성과 높은 상관관계가 있기 때문에 모형에서 제외하였다.[62]

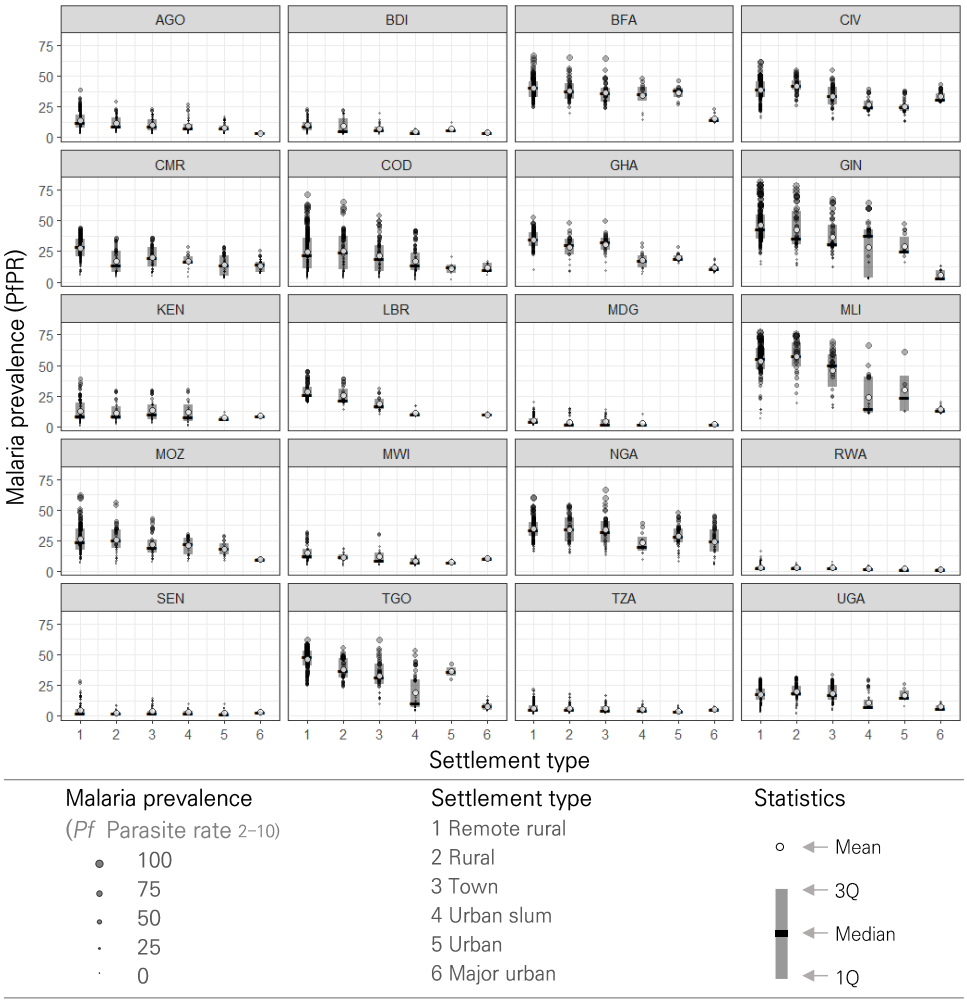
[표 13] 분석 2단계 설명변수 기술통계

Variable	N	Mean	Std. D	Min	Max
Malaria prevalence (%)	6,757	18.66	15.74	0.78	81.32
Urbanicity	6,757	2.35	1.63	1.00	6.00
Precipitation (100㎜)	6,757	12.21	5.19	1.11	43.16
Altitude (100m)	6,757	6.89	5.95	0.00	29.94
EVI (index) * 100	6,757	32.13	9.61	0.00	57.09

주: 각 변수의 효과를 적절하게 파악할 수 있도록 3개 자연지리 변수에 모두 100을 나누어 단위를 변경하였다.

[61] 1단계 분석 결과, 말라리아 감염에 기온보다 고도의 효과가 크다는 것으로 나타났으며, 사전 분석으로 실시한 국가별 OLS 회귀분석에서 기온의 VIF(Variance Inflation Factors) 값이 높았다. 따라서 고도만 모형에 포함하여 다중공선성(multicollinearity) 문제가 발생하지 않도록 하였다.

[62] 이는 도시성이 높을수록 사회경제 수준이 높다는 정주지 유형별 특성 분석 결과와 일치한다(표 10). 또한 커뮤니티 특성으로 평균 값을 사용하는 경우, 그 변수는 각 커뮤니티 내 가구별 사회경제 수준의 차이를 반영하지 못하게 된다.



[그림 13] 정주지 유형별 말라리아 유병률

주: 하나의 점은 하나의 커뮤니티(DHS 조사구)를 나타낸다. 커뮤니티의 말라리아 유병률(세로축)은 MAP이 제공하는 $PfPR_{2-10}$이다. 정주지 유형(가로축)은 왼쪽에서부터 원격 농촌, 일반 농촌, 타운, 도시 슬럼, 일반 도시, 주요 도시 순으로 나열하였다. 기술통계는 평균, 중위 값, 1분위와 3분위를 표현하였다. 한편, [그림 6]과 달리 정주지 유형별로 커뮤니티간 격차가 크지 않다. MAP의 $PfPR_{2-10}$ 자료는 여러 인구보건자료와 지리정보에 기반하여 미시적인 공간 단위로 추정된 것이며, DHS 자료는 커뮤니티별로 개인 단위의 표본이 충분하지 않기 때문이다. 즉, 개인 단위(감염 여부) 분석에서는 DHS 자료를, 커뮤니티 단위(유병률) 분석에서는 MAP의 $PfPR_{2-10}$ 자료를 활용하는 것이 적절하다고 보았다.

3. 분석 결과

1) 도시성의 파급효과

말라리아 유병률 및 도시성 변수는 모두 높은 수준의 공간자기상관성을 보여 공간회귀분석을 진행하였다.[63] 3개 공간 회귀모형에 대한 LR 검정 결과, SDM이 가장 좋은 모형인 것으로 확인되었다.[64]

SDM 분석 결과, 동아프리카와 서아프리카에서 도시성의 직접효과와 파급효과가 나타났다. 이는 인접 커뮤니티의 도시성이 높을수록 특정 커뮤니티의 말라리아 유병률이 낮아진다는 것을 의미한다. 주목할 만한 점은 직접효과보다 파급효과가 크다는 점인데, 이는 한 커뮤니티의 유병률은 자신의 도시성보다 인접 커뮤니티들의 도시성에 더 영향을 받는 것을 의미한다. 중부 아프리카에서는 직접효과, 마다가스카르에서는 간접효과와 총효과가 유의하였다.

모든 거시지역에서 인접 커뮤니티의 말라리아 유병률이 높을수록 특정 커뮤니티의 유병률도 높아지는 것으로 나타났다. 이를 통해 도시성과 말라리아 유병률의 공간적 효과가 모두 중요하다는 것을 알 수 있다.

---

[63] 4개 거시지역에서 말라리아 유병률의 전역적 Moran's I는 0.7 이상이었고, 도시성의 전역적 Moran's I는 0.6 이상이었다. 또한, 모든 통계량은 0.1% 유의수준에서 유의하였다.

[64] AIC, 잔차제곱합(RSS), 로그 우도(Log likelihood)를 통해 SDM이 주어진 자료를 가장 잘 설명하는 것으로 확인되었다(표 14). 또한, SDM과 SAR의 우도비 검정과 SDM과 SEM의 우도비 검정 결과, 중부 아프리카를 제외한 3개 거시지역 모두 SDM이 0.1% 유의수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 중부 아프리카의 경우, SDM과 SAR의 우도비 검정 결과로 0.1% 유의수준에서 SDM이 적합한 것이 나타났지만 SDM과 SEM 우도비 검정 결과로 10% 유의수준에서 SDM이 더 적합한 것으로 나타났다. 따라서 분석 결과로는 기본 모형인 OLS와 변수의 공간적 효과를 분석하는 SAR과 SDM의 추정치를 제시하였다.

[표 14] 거시지역별 공간회귀분석 결과

	OLS	SAR	SDM		
	Coef. (SE)	Coef. (SE)	Direct (SE)	Indirect (SE)	Total (SE)
East Africa					
Urbanicity	-0.929***	-0.258***	-0.502***	-3.830***	-4.332***
	(0.114)	(0.038)	(0.064)	(0.739)	(0.78)
Precipitation (100㎜)	0.460***	0.021	0.393***	-0.236	0.157
	(0.046)	(0.015)	(0.048)	(0.262)	(0.267)
Altitude (100m)	-0.721***	-0.138***	-0.371***	-1.086***	-1.458***
	(0.028)	(0.011)	(0.029)	(0.159)	(0.163)
EVI (index)	0.333***	0.062***	0.150***	-0.302†	-0.152
	(0.026)	(0.009)	(0.015)	(0.16)	(0.168)
Spatial Effects					
ρ (Spatial lag)		0.916***	0.943***		
Model fitness					
AIC	17,414	12,555	12,254		
RSS	152,170	16,420	13,957		
Log likelihood		-6,270	-6,116		
Num. of Sample					
clusters (countries)	2,506(7)	2,506(7)	2,506(7)		
West Africa					
Urbanicity	-3.068***	-0.998***	-1.743***	-3.684***	-5.426***
	(0.171)	(0.064)	(0.095)	(0.626)	(0.69)
Precipitation (100㎜)	-0.097†	-0.001	1.209***	-1.247***	-0.038
	(0.052)	(0.018)	(0.077)	(0.175)	(0.178)
Altitude (100m)	0.550***	0.021	-0.098	0.716*	0.619†
	(0.103)	(0.037)	(0.109)	(0.343)	(0.366)
EVI (index)	0.391***	0.108***	0.456***	-0.102	0.353**
	(0.032)	(0.012)	(0.023)	(0.107)	(0.117)
Spatial Effects					
ρ (Spatial lag)		0.860***	0.916***		
Model fitness					
AIC	23,557	18,595	17,573		
RSS	674,930	85,466	53,496		
Log likelihood		-9,290	-8,776		
Num. of Sample					
clusters (countries)	2,833(10)	2,833(10)	2,833(10)		

(Continued)

Central Africa					
Urbanicity	-0.754**	-0.554***	-0.799***	-0.679	-1.478
	(0.253)	(0.139)	(0.193)	(0.857)	(0.98)
Precipitation (100㎜)	0.495***	0.071	1.675***	-1.190**	0.485
	(0.113)	(0.062)	(0.174)	(0.391)	(0.385)
Altitude (100m)	-0.435***	-0.172***	-0.550***	-0.179	-0.729***
	(0.065)	(0.036)	(0.109)	(0.204)	(0.202)
EVI (index)	0.379***	0.113***	0.332***	0.076	0.408*
	(0.048)	(0.027)	(0.043)	(0.157)	(0.175)
Spatial Effects					
ρ (Spatial lag)		0.786***	0.843***		
Model fitness					
AIC	8,090	7,065	6,857		
RSS	113,374	33,858	25,955		
Log likelihood		-3,526	-3,417		
Num. of Sample					
clusters (countries)	1,078(2)	1,078(2)	1,078(2)		
Madagascar					
Urbanicity	-0.423*	-0.507***	-0.144	-0.628†	-0.771†
	(0.188)	(0.132)	(0.137)	(0.359)	(0.451)
Precipitation (100㎜)	0.120**	0.048†	0.184***	-0.065	0.119
	(0.039)	(0.027)	(0.034)	(0.073)	(0.085)
Altitude (100m)	-0.355***	-0.191***	-0.212***	-0.159†	-0.371***
	(0.037)	(0.028)	(0.049)	(0.082)	(0.08)
EVI (index)	-0.042†	-0.033†	0.064**	-0.151***	-0.087
	(0.026)	(0.018)	(0.02)	(0.044)	(0.057)
Spatial Effects					
ρ (Spatial lag)		0.550***	0.782***		
Model fitness					
AIC	1,727	1,540	1,303		
RSS	3,086	1,540	604		
Log likelihood		-763	-640		
Num. of Sample					
clusters (countries)	340(1)	340(1)	340(1)		

주: 식생 지수(EVI index)은 100을 곱하였음. 공간더빈모형의 표준오차(standard error, SE)는 10,000회 시뮬레이션으로 추정하였다.

† p<.1, * p<.05, ** p<.01, *** p<.001

2) 도시성의 국지적 효과

거시지역별 지리가중회귀분석 결과, 모든 거시지역에서 말라리아 유병률에 미치는 도시성의 효과가 커뮤니티별로 다른 것으로 나타났다(표 15). 커뮤니티별 도시성 효과의 1분위와 3분위 사이 값들은 도시성이 유병률에 음의 영향을 준다는 것을 보여준다. 그러나 일부 커뮤니티는 도시성이 오히려 유병률을 높이는 양의 관계가 있거나 그 관계가 유의하지 않은 것으로 나타났다.

GWR 모형의 AIC와 RSS는 모든 거시지역에서 공간회귀모형(SAR, SDM)의 통계량보다 낮았다. 즉, GWR 모형이 말라리아 유병률과 도시성 및 설명변수 사이의 관계를 가장 잘 설명하였다. 이는 말라리아 유병률과 도시성이 지니는 전역적인 공간적 효과가 존재하지만, 커뮤니티에 따라 달라지는 도시성의 국지적인 공간적 효과가 유병률에 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다.

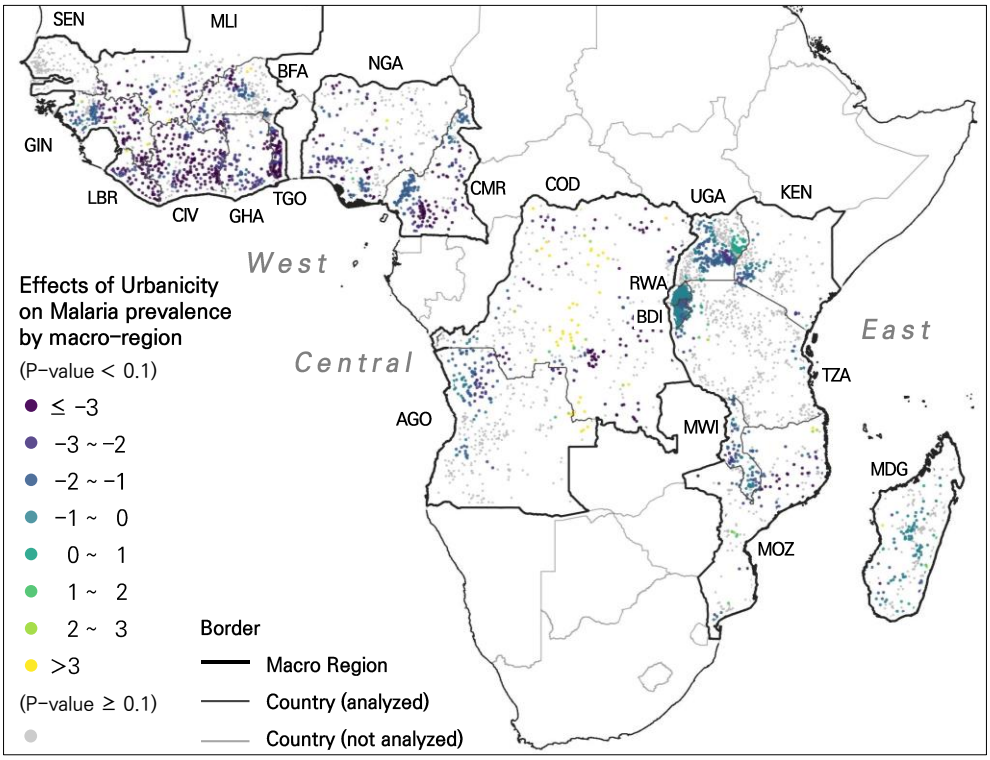
거시지역별로 구체적인 분석 결과는 [표 15]에 정리하였다. 동아프리카에서 도시성 효과(추정한 계수)의 중앙값은 -0.44이었지만 표준표차가 1.08로 커뮤니티별로 큰 차이가 있었다. 서아프리카의 도시성 효과는 중앙값이 -1.667(평균은 -1.99)로 다른 거시지역보다 크지만, 도시성 효과의 표준편차가 1.94로 커뮤니티별로 이질성이 컸다. 중부 아프리카의 커뮤니티별 도시성 효과의 중앙값은 -0.63이었지만 표준편차가 2.29로 추정계수의 이질성이 가장 높았다. 마다가스카르는 도시성 효과의 중앙값은 -0.24로 효과가 상대적으로 작았으며, 표준편차는 0.85으로 추정계수의 이질성이 가장 낮았다.

거시지역별 GWR 분석 결과를 하나의 지도로 표현한 [그림 14]은 도시성의 국지적 효과를 보여준다. 말라리아 유병률이 높은 지역에서 유병률을 낮추는 도시성 효과가 큰 경향이 나타났다. 유병률이 낮은 지역에서 도시성이 말라리아 유병률에 양(+)의 영향을 가지거나 유의하지 않은 경향이 있었다.

[표 15] 거시지역별 지리가중회귀분석 결과

	GWR				OLS
	Estimate			Statistics	Estimate
	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Mean (Std. D)	Coef. (Std. E)
East					
Urbanicity	-0.924	-0.440	-0.034	-0.54(1.08)	-0.93(0.11)
Precipitation (㎜)	-0.250	0.167	0.739	0.30(1.43)	0.46(0.05)
Altitude (m)	-0.805	-0.424	-0.110	-0.31(1.33)	-0.72(0.03)
EVI	0.014	0.103	0.270	0.14(0.40)	0.33(0.04)
Model fitness					
AIC				11,315	17,414
RSS				11,060	152,170
West					
Urbanicity	-2.988	-1.667	-0.620	-1.99(1.94)	-3.07(0.17)
Precipitation (㎜)	-1.184	0.012	1.217	-0.05(3.03)	-0.10(0.05)
Altitude (m)	-1.657	-0.026	2.327	0.78(5.93)	0.55(0.10)
EVI	-0.007	0.204	0.668	0.36(0.85)	0.39(0.03)
Model fitness					
AIC				15,177	23,557
RSS				26,598	674,930
Central					
Urbanicity	-1.727	-0.630	-0.191	-0.82(2.29)	-0.75(0.25)
Precipitation (㎜)	-1.045	0.161	1.631	0.00(3.14)	0.50(0.11)
Altitude (m)	-1.154	-0.247	0.597	0.03(4.76)	-0.43(0.07)
EVI	0.054	0.242	0.502	0.39(0.95)	0.38(0.05)
Model fitness					
AIC				5,874	8,090
RSS				11,193	113,374
Madagascar					
Urbanicity	-0.510	-0.244	-0.060	-0.24(0.85)	-0.42(0.19)
Precipitation (㎜)	-0.085	0.108	0.410	0.20(0.69)	0.12(0.04)
Altitude (m)	-0.337	-0.144	0.107	-0.07(0.77)	-0.36(0.04)
EVI	-0.045	0.022	0.098	0.03(0.19)	-0.04(0.03)
Model fitness					
AIC				748	1,727
RSS				119	3,086

주: GWR 추정치로 설명변수들의 계수 중 중앙값, 1분위수, 3분수를 정리하고, 계수들의 기술통계로 평균과 표준편차(Std. deviation)를 정리하였다.



[그림 14] 거시지역별 도시성의 국지적 효과

주: 거시지역별로 추정한 도시성 효과를 한 지도에 표현하였다. 6,757개 커뮤니티 중 10% 유의수준에서 유의한 도시성 효과를 지닌 3,743개 커뮤니티는 8개 등급으로 나누어 표현하였다. 통계적으로 유의하지 않은 추정치를 보여준 커뮤니티는 회색으로 표현하였다. 음수 중 색이 진할수록 말라리아 유병률을 낮추는 도시성의 효과가 크다는 것을 의미한다.

[그림 14]에서 서아프리카 국가들의 커뮤니티에서 도시성 증가에 따른 말라리아 유병률 감소가 더욱 뚜렷했다. 또한 동아프리카 중 아프리카 대호수(African Great Lakes) 지역[65]에 속하는 커뮤니티에서 도시성이 미치는 음(-)의 영향이 나타났다. 그 지역에는 빅토리아 호수 인근의 케냐 서부, 우간다, 르완다, 부룬디, 탄자니아 서부, 말라위, 모잠비크 북부 지역이 포함된다.

[65] 아프리카 대호수 지역은 동아프리카 지구대의 주요 호수들과 인접한 지역을 의미한다.

[표 16] 지리가중회귀분석 결과(사하라 이남 아프리카)

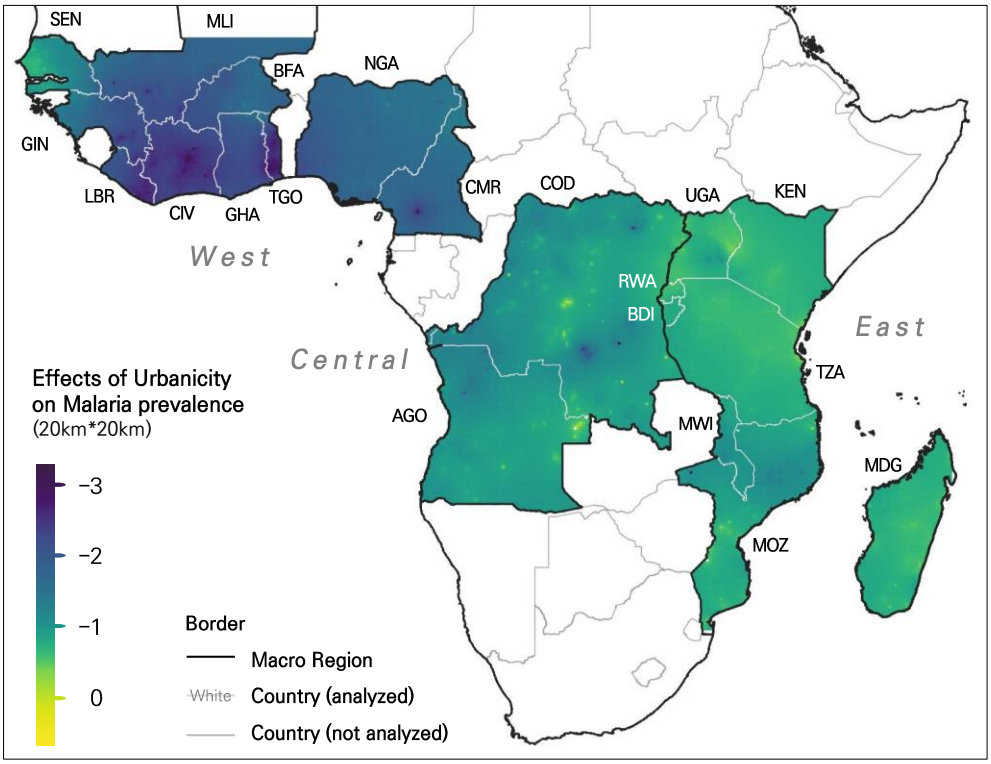
	GWR				OLS
	Estimate[1]			Stat. of Coef.	Estimate
	1st Q.	Median	3rd Q.	Mean (Std. D)	Coef. (Std. E)
sub-Sharan Africa					
Urbanicity	-2.070	-0.793	-0.144	-1.21(2.05)	-1.65(0.11)
Precipitation (㎜)	-0.560	0.095	0.917	0.07(2.61)	-0.01(0.04)
Altitude (m)	-1.056	-0.362	0.643	0.1(4.31)	-1.09(0.03)
EVI	-0.002	0.147	0.448	0.29(0.76)	0.42(0.02)
Model fitness					
AIC				35,250	54,762
RSS				57,834	1,307,020

주: GWR 추정치로 설명변수들의 계수 중 중앙값, 1분위수, 3분수를 정리하고, 계수들의 기술통계로 평균과 표준편차(Std. deviation)를 정리하였다. 비교 모형인 OLS 추정치로는 계수와 표준오차(Std. error)를 제시하였다.

중부 아프리카는 말라리아 유병률에 미치는 도시성의 효과가 이질적이지만, DR콩고 내륙 지역에 도시성의 양(+)의 효과를 지니는 커뮤니티가 산재하며, 앙골라 북서부의 커뮤니티들은 도시성의 음(-)의 효과를 보였다. 한편, 우간다 동부는 도시성이 높을수록 말라리아 유병률도 높아지는 양(+)의 관계를 보여주는 커뮤니티가 밀집한 지역으로 확인되었다.[66]

마지막으로 20개국을 대상으로 하는 GWR 분석 결과, 많은 커뮤니티에서 도시성이 말라리아 유병률에 음(-)의 영향을 미쳤다. 그러나 도시성 효과의 크기와 방향은 높은 이질성을 보여주었다.

[66] 이 지역은 엘곤산(Mount Elgon)의 우림과 가까운 농촌 및 산촌으로 우간다에서 말라리아 유병률이 높은 지역에 속한다(그림 2). 그런데 음발레(Mbale), 토로로(Tororo) 등 도시 지역 정주지 유형(일반 도시와 도시 슬럼)을 중심으로, 타운이 밀집한 곳이기도 하다(그림 5). 즉, 이 지역에서 말라리아 유병률과 도시성이 정(+)의 관계로 나타나는 이유는 주변 지역보다 상대적으로 인구가 많지만 말라리아 풍토성도 높기 때문이라고 볼 수 있다.



[그림 15] 사하라 이남 아프리카의 도시성의 국지적 효과

주: 대륙 스케일의 GWR 분석으로 추정된 커뮤니티별 도시성 효과 추정치를 사용하여 보간(interpolation)하였다. 보간의 공간 단위는 약 20㎞*20㎞ 격자로 설정하였다. 색이 진할수록 말라리아 유병률을 낮추는 도시성의 국지적 효과가 크다는 것을 의미한다.

[그림 15]는 역거리 가중 보간법(Inverse distance weighted method, IDW)을 이용하여 DHS 조사구가 없는 공간 범위의 도시성 효과를 보간한 지도이다. 도시성 효과의 공간 패턴은 거시지역별 GWR 추정치의 패턴과 유사하다. 서아프리카, 동아프리카의 빅토리아 호수와 말라위 호수 인근, 중부 아프리카 앙골라의 북서부와 DR 콩고의 일부 지역에서 도시성은 말라리아 유병률에 음(-)의 영향을 주는 것으로 나타났다. 반면, 우간다 동부, DR 콩고 내륙, 앙골라 동부에서는 도시성이 유병률에 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

제6장 결론

1. 연구의 요약 및 시사점

본 연구는 정주환경의 특성을 종합한 다면적 도시성 변수를 개발하고, 사하라 이남 아프리카에서 정주지 도시성이 아동의 말라리아 감염 및 커뮤니티 유병률 미치는 효과를 실증하였다. 이를 위해 다면적으로 측정한 도시성을 바탕으로 정주지를 6개 유형으로 구분하고, 공간의 스케일에 따라 다르게 나타나는 도시성의 효과를 규명하였다.

실증 분석은 2단계로 이루어졌다. 분석 1단계에서는 아동 말라리아 감염에 미치는 도시성의 효과를 분석하기 위해 다수준 로지스틱 회귀모형과 메타분석을 활용하였다. 분석 2단계에서는 커뮤니티의 말라리아 유병률에 미치는 도시성의 공간적 효과를 분석하기 위해 공간회귀분석과 지리가중회귀분석을 활용하였다.

분석 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 도시성이 높은 정주지일수록 말라리아에 감염될 확률은 낮아졌다. 도시 지역에서는 도시 슬럼이, 농촌 지역에서는 원격 농촌이 감염 확률이 높았다. 거시지역 및 국가별 분석 결과에서도 정주지의 도시성이 높아질수록 말라리아 감염 확률이 낮아졌다. 다만, 말라리아 감염 확률을 낮추는 도시성 효과의 크기는 거시지역 및 국가별로 이질적인 것으로 나타났다.

둘째, 인접 커뮤니티의 도시성이 높을수록 특정 커뮤니티의 말라리아 유병률이 낮아지는 파급효과가 존재했다. 인접 커뮤니티의 말라리아 유병률이 높으면 특정 커뮤니티의 말라리아 유병률이 높아지는 말라리아의 전염성도 확

인되었다. 한편, 도시성이 말라리아 유병률에 미치는 국지적 효과는 커뮤니티에 따라 달랐는데, 많은 커뮤니티에서 도시성이 말라리아 유병률을 감소시켰지만 그 효과의 크기는 이질적이었다. 일부 커뮤니티에서는 반대로 도시성이 유병률을 높이거나 유의하지 않게 나타났다.

이러한 연구 결과는 말라리아 문제 해결에 다음과 같은 시사점을 제시한다. 첫째, 아프리카에서 말라리아 예방 및 통제 프로그램을 시행할 때 도시성 효과가 낮은 지역을 우선적 대상으로 고려할 필요가 있다. 특히, 말라리아 감염 위험이 큰 것으로 확인된 도시 슬럼과 원격 농촌에 대한 관심이 요구된다. 다만, 도시성이 말라리아 감염에 미치는 효과의 정도가 거시지역 및 국가에 따라 달라진다는 점에서, 거시지역 및 국가별 지리적 맥락을 추가적으로 고려한 후에 프로그램의 대상지를 선정해야 한다.

둘째, 도시성과 말라리아 유병률에 공간적 파급효과가 있다는 사실은 말라리아 예방 및 통제 프로그램의 공간적 범위를 설정할 때 해당 지역만이 아니라 인접한 지역의 특성까지 함께 고려해야 한다는 것을 시사한다. 유병률이 높거나 도시성이 낮은 커뮤니티에 인접한 지역에서는 이들 커뮤니티를 포괄하는 범위가 설정되어야 한다. 한편, 일부 지역은 도시 지역임에도 불구하고 도시성의 효과가 없거나 도시성이 유병률을 높이기도 하였는데, 이러한 분석 결과는 도시 지역 내 유병률이 높은 커뮤니티에 대한 지속적인 말라리아 프로그램을 추진해야할 실증적 근거가 될 수 있다.

2. 연구의 의의 및 한계

본 연구는 다면적 도시성을 바탕으로 정주지를 6가지 유형으로 구분하고, 도시성이 말라리아 감염 및 유병률에 미치는 효과를 여러 공간 범위에서 실증하였다는 데에 학술적 의의가 있다. 특히, 정주지 유형을 구분할 때 도시 지역과 농촌 지역의 특성을 고려하여 서로 다른 방법을 적용한 것은 기존의 도시성 측정 방법론을 확장한 것이다. 또한, 본 연구는 말라리아에 미치는 도시성의 공간적 효과와 더불어 말라리아 문제의 공간적 격차를 규명함으로써 말라리아와 도시성에 관한 논의를 지리적 관점으로 구체화했다는 의의를 지닌다.

또한, 본 연구는 말라리아 예방 및 통제를 위한 각종 프로그램이 대상 지역의 정주환경이 지닌 다양한 지리적 특성을 고려하여 수립되어야 함을 제시했다는 점에서 실천적 의의를 지닌다. 구체적으로, 정주지 유형을 고려한 대상지 선정, 거시지역 및 국가의 맥락을 고려한 차별적 계획, 인근 커뮤니티와의 연계를 고려한 공간 범위 설정, 도시 지역 내 저소득층 커뮤니티에 대한 지속적인 통제 관리 등의 필요성을 실증적 근거를 기반으로 제시하였다.

본 연구는 자료 및 방법론 측면에서 다음과 같은 한계를 지닌다. 본 연구에서 활용한 DHS 자료는 특정 연령대의 생존 여성만을 대상으로 조사되기에 표집에 편의가 있을 수 있다. 또한, DHS에서 설문 대상자의 개인정보보호를 위해 조사구의 좌표를 임의로 이동시키기 때문에 공간 분석의 정확도를 낮출 수 있다. 한편, DHS 자료는 국가별로 연도가 다른 횡단면 자료이지만 본 연구에서는 국가별 시기 차이는 분석에서 다루지 못하였다. 따라서 DHS 자료의 이러한 한계점을 보완하여 공간 분석의 정밀도를 높이는 방법론이 개발 및 적용될 필요가 있다. 향후, 개선된 공간 분석으로 커뮤니티의 도시성을 더욱 정밀하게 측정하고 그 효과를 파악하는 후속 연구가 이어지기를 기대한다.

부록

[부록 표 1] 개인, 부모, 가구 수준의 말라리아 감염 요인

Category	Factor (Association)	Reference literatures
Biology	Individual	
	age (+), female sex	(Bennett et al., 2016; Houngbedji et al., 2015; Mfueni Bikundi & Coppieters, 2017; Mosha et al., 2014; Pullan et al., 2011)
	recent morbidity or history of disease (+)	(Bannister-Tyrrell et al., 2017; Mfueni Bikundi & Coppieters, 2017)
Human behavior & Socio-economy	Parents	
	education level (-)	(Kabaria et al., 2017; Mosha et al., 2014; Ricci, 2012)
	Household	
	household income or wealth (-)	(Degarege et al., 2019; Houngbedji et al., 2015; Mfueni Bikundi & Coppieters, 2017; Ricci, 2012)
	household size (density indoors) (+)	(Bannister-Tyrrell et al., 2017; Ernst et al., 2006; Rosas-Aguirre et al., 2015)
	housing (material) quality (-)	(Degarege et al., 2019; Florey & Taylor, 2016; Lindsay et al., 2003; Mosha et al., 2014; Tusting et al., 2017; Tusting et al., 2015)
	Sanitation facilities (toilet) & water source quality (-)	(Semakula et al., 2016; Yang et al., 2020)

주: 여러 요인이 묶인 경우, 해당 참고 문헌은 그 요인들 중 1개 이상을 설명한다. 요인 뒤 괄호 안의 부호는 말라리아 감염 및 커뮤니티의 유병률과의 일반적인 관계를 의미한다. 부호가 없는 요인은 그 관계가 사례에 따라 달라지거나 복잡한 경우에 해당한다.

[부록 표 2] 커뮤니티, 지역 수준의 말라리아 감염 요인

Category	Factor	Reference literatures
Physical geography & Ecology	precipitation (+), temperature (+), seasonality, climate	(Adigun et al., 2015; Asante et al., 2013; Bennett et al., 2016; Cairns et al., 2015; Devi & Jauhari, 2006; Endo & Eltahir, 2016; Kipruto et al., 2017)
	altitude (-)	(Bødker et al., 2003; Kipruto et al., 2017; Lindsay & Martens, 1998; Maxwell et al., 2003)
	vegetation density (+)	(Adigun et al., 2015; Bennett et al., 2016; Kabaria et al., 2016)
	proximity to water body (+)	(Kabaria et al., 2016; Mfueni Bikundi & Coppieters, 2017)
	vector breeding site access (+)	(Bannister-Tyrrell et al., 2017; Protopopoff et al., 2009)
Human geography & Socio-economy	population	(Bennett et al., 2016; Mfueni Bikundi & Coppieters, 2017)
	urbanization (-)	(Kabaria et al., 2017; Kigozi et al., 2015; Omumbo et al., 2005; Tatem et al., 2008)
	land use	(Hoffman-Hall et al., 2020; Paul et al., 2018)
	accessibility (-)	(Amratia et al., 2019)
	health access	(Bannister-Tyrrell et al., 2017; Mosha et al., 2014; Pullan et al., 2011)
	human mobility or migration	(Baragatti et al., 2009; Carrel et al., 2015; Gomes et al., 2020; Lynch & Roper, 2011; Malede et al., 2018; Martens & Hall, 2000; Wesolowski et al., 2012)
	conflicts (+)	(Sedda et al., 2015)

주: 여러 요인이 묶인 경우, 해당 참고 문헌은 그 요인들 중 1개 이상을 설명한다. 요인 뒤 괄호 안의 부호는 말라리아 감염 및 커뮤니티의 유병률과의 일반적인 관계를 의미한다. 부호가 없는 요인은 그 관계가 사례에 따라 달라지거나 복잡한 경우에 해당한다.

[부록 표 3] 도시 및 도시 인접 지역의 말라리아 감염 요인

Level	Factor (Association)	Reference literatures
Individual, Household	household income or wealth (-)	(Baragatti et al., 2009; De Silva & Marshall, 2012; Kazembe & Mathanga, 2016; Mathanga et al., 2016; Siri et al., 2010)
	education level (-)	(Adedotun et al., 2010; Baragatti et al., 2009; Ferrari et al., 2016; Mathanga et al., 2016)
	housing (material) quality (-)	(Adedotun et al., 2010; Fobil et al., 2012; Killeen et al., 2019; Liu et al., 2014; Peterson et al., 2009; S. J. Wang et al., 2006)
	sanitation or water source quality (-)	(Adedotun et al., 2010; Fobil et al., 2012; Wang et al., 2005)
	protective behaviors or malaria program (-)	(Baragatti et al., 2009; Clark et al., 2008; Ferrari et al., 2016; Killeen et al., 2019; Reyes et al., 2013; Ssempiira et al., 2017; S. J. Wang et al., 2006; Wang et al., 2005)
	travel (to malaria endemic areas or rural areas) (+)	(Domarle et al., 2006; Kazembe & Mathanga, 2016; Killeen et al., 2019; Mathanga et al., 2016; Siri et al., 2010; Tejedor-Garavito et al., 2017; S.-J. Wang et al., 2006; Wesolowski et al., 2012; Zhou et al., 2016)
Community	built-up density (-)	(Baragatti et al., 2009; Kabaria et al., 2016)
	accessibility to urban centre (-)	(Dear et al., 2018)
	proximity to water body or wetness (+)	(Baragatti et al., 2009; Clark et al., 2008; Dos Santos et al., 2014; Kabaria et al., 2016; Matthys et al., 2006; Peterson et al., 2009)
	urban agriculture or garden (+)	(De Silva & Marshall, 2012; Klinkenberg et al., 2008; Matthys et al., 2006; Wang et al., 2005)
	vegetation density (+)	(Kabaria et al., 2016)

주: 여러 요인이 묶인 경우, 해당 참고 문헌은 그 요인들 중 1개 이상을 설명한다. 요인 뒤 괄호 안의 부호는 말라리아 감염 및 커뮤니티의 유병률과의 일반적인 관계를 의미한다. 부호가 없는 요인은 그 관계가 사례에 따라 달라지거나 복잡한 경우에 해당한다.

[부록 표 4] 국가별 아동 말라리아 감염 및 유병률 기술통계

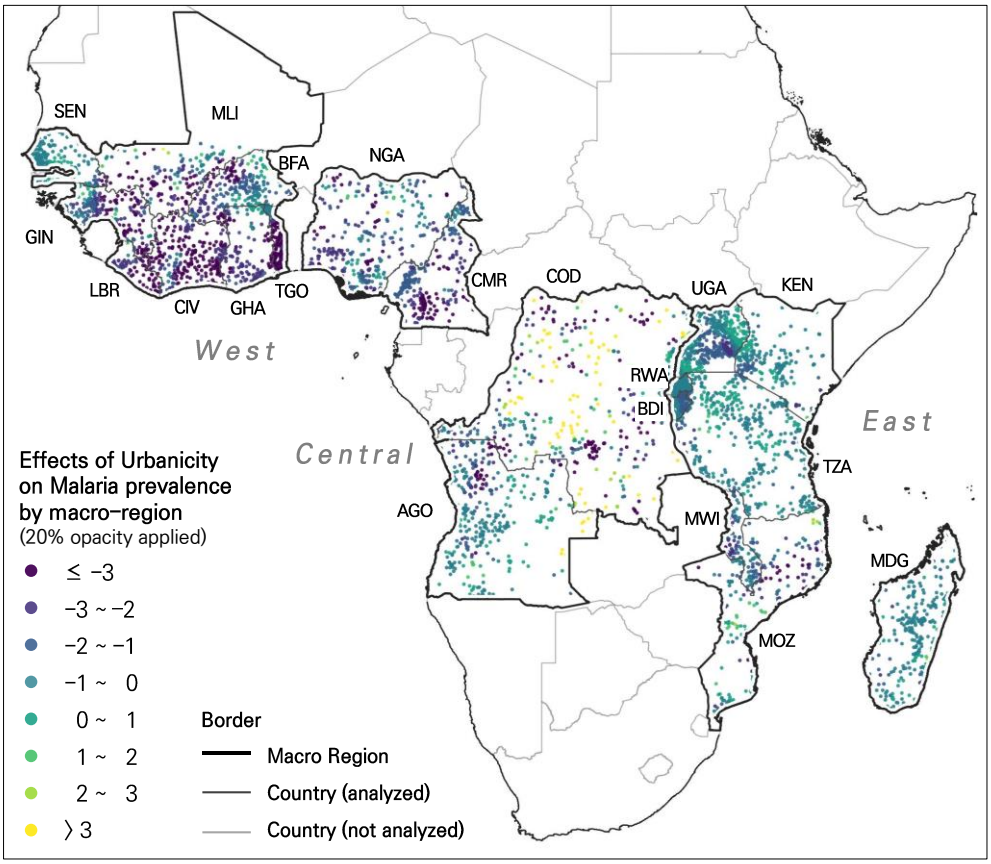
Macro Region	Country	Round	Malaria infection (malaria test result)		Malaria prevalence ($PfPR_{2-10}$ in 2015)	
			N	Positive (%)	Mean	Sd
Central	Angola	1	6,628.3	13.4	10.8	6.4
West	Burkina Faso	1	5,926.6	46.0	37.5	10.4
West	Burkina Faso	2	5,475.0	16.8	-	-
East	Burundi	1	3,549.1	16.8	8.6	5.1
Central	Congo DR	1	8,174.8	22.6	22.2	14.6
West	Cote d'Ivoire	1	3,117.8	17.9	35.1	9.7
West	Cameroon	1	4,849.1	23.8	20.2	10.4
West	Ghana	1	2,746.9	21.6	27.3	11.3
West	Ghana	2	2,515.1	14.8	-	-
West	Guinea	1	3,228.4	43.9	37.9	19.5
East	Kenya	1	2,920.0	4.6	12.5	8.6
West	Liberia	1	2,756.3	46.0	23.4	9.3
Other	Madagascar	1	6,457.5	7.0	4.8	3.6
West	Mali	1	6,938.9	35.5	44.3	21.1
East	Malawi	1	1,992.6	32.8	12.4	6.4
East	Malawi	2	2,499.4	24.4	-	-
East	Mozambique	1	4,608.7	40.4	23.2	11.2
West	Nigeria	1	5,721.2	27.4	31.5	11.0
West	Nigeria	2	7,963.0	22.3	-	-
East	Rwanda	1	3,557.1	2.2	3.1	1.6
West	Senegal	1	10,603.1	0.6	3.9	3.9
West	Togo	1	2,990.2	36.4	33.1	17.4
West	Togo	2	5,948.1	28.2	-	-
East	Tanzania	1	8,343.3	5.5	6.1	3.4
East	Tanzania	2	6,693.8	7.2	-	-
East	Uganda	1	4,608.5	30.3	17.0	7.2
East	Uganda	2	7,155.3	9.4	-	-
Total			137,968.1	13.4	18.7	15.7

주: 개인 수준의 말라리아 감염(infection) 여부 관련 모든 통계량은 표집 가중치를 부여하여 계산하였다. 말라리아 감염에 대한 통계량은 국가별 5세 미만 아동의 수와 말라리아 검사 결과에서 양성이 나온 비율이다. 말라리아 유병률(prevalence)에 대한 통계량은 커뮤니티별 $PfPR_{2-10}$의 평균과 표준편차이다. 커뮤니티별 유병률은 2015년 자료만 있어 1차 시기에 맞추어 정리하였다.

[부록 표 5] 국가별 정주지 유형 비율

Macro Region	Country	Year	Major urban 6	Urban 5	Urban slum 4	Town 3	Rural 2	Remote rural 1
central	Angola	2015-16	23.4	10.2	11.6	6.9	12.6	35.3
west	Burkina Faso	2014	6.7	4.7	7.1	13.8	16.4	51.3
west	Burkina Faso	2017-18	3.6	7.7	2.1	12.4	14.4	59.9
east	Burundi	2012	2.7	1.6	3.6	20.7	16.0	55.6
central	Congo DR	2013-14	2.1	1.1	21.6	13.3	15.2	46.7
west	Cote d'Ivoire	2011-12	14.4	5.6	5.9	10.3	21.4	42.5
central	Cameroon	2018	16.7	10.4	2.6	11.6	12.6	46.1
west	Ghana	2016	15.6	5.1	10.1	9.9	15.2	44.0
west	Ghana	2019	13.2	5.4	10.6	10.4	14.6	45.8
west	Guinea	2012	8.1	1.9	11.2	12.8	15.8	50.1
east	Kenya	2015	5.1	2.3	9.5	10.2	7.1	65.8
west	Liberia	2016	12.4	0.0	17.3	11.4	16.0	42.9
east	Madagascar	2016	0.8	0.0	4.0	10.7	17.9	66.5
west	Mali	2015	9.2	1.9	10.1	15.3	14.8	48.7
east	Malawi	2014	2.6	1.2	10.9	2.2	24.3	58.7
east	Malawi	2017	0.8	1.5	8.5	9.4	23.5	56.3
east	Mozambique	2015	4.1	3.5	7.7	8.5	16.5	59.7
west	Nigeria	2015	13.7	12.3	1.6	10.7	13.2	48.5
west	Nigeria	2018	16.6	11.5	8.2	14.4	11.2	38.1
east	Rwanda	2014-15	3.5	1.1	7.3	14.2	18.7	55.3
west	Senegal	2015-16	17.6	9.5	2.3	9.1	21.7	39.8
west	Togo	2013-14	12.7	0.5	15.4	14.2	12.1	45.2
west	Togo	2017	18.3	3.3	7.6	11.3	13.8	45.7
east	Tanzania	2015-16	3.9	5.3	6.3	12.5	15.9	56.1
east	Tanzania	2017	3.2	5.9	7.2	12.4	17.0	54.2
east	Uganda	2016	3.9	0.6	5.7	17.8	18.6	53.3
east	Uganda	2018-19	2.9	0.4	6.9	16.2	22.5	51.1
Total			9.2	4.9	7.8	12.2	16.2	49.7

주: 모든 통계량은 표집 가중치를 부여하여 계산하였다. 정주지 유형별 비중은 커뮤니티(DHS 조사구)의 수가 아닌 아동 표본 수를 기준으로 정리하였다. 각 범주 아래의 숫자는 도시성을 연속형 변수로 설정하였을 때 부여되는 값에 해당한다.



[부록 그림 1] 거시지역별 도시성의 국지적 효과(전체 표본)

주: 거시지역별로 추정한 도시성 효과를 한 지도에 표현하였다. 따라서, 커뮤니티 간 도시성 효과의 차이는 각 거시지역 내에서 비교할 수 있다. 다만, 커뮤니티별 추정치는 하나의 범례를 적용하여 8등급으로 구분하였다. 또한 6,757개 커뮤니티의 모든 추정치를 표현하였다.

참고문헌

Adedotun, A. A., Morenikeji, O. A., & Odaibo, A. B. (2010). Knowledge, attitudes and practices about malaria in an urban community in south-western Nigeria. *Journal of vector borne diseases., 47*(3), 155.

Adigun, A. B., Gajere, E. N., Oresanya, O., & Vounatsou, P. (2015). Malaria risk in Nigeria: Bayesian geostatistical modelling of 2010 malaria indicator survey data. *Malar J, 14*, 156.

Agresti, A. (2013). *Alternative modeling of binary response data*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Alirol, E., Getaz, L., Stoll, B., Chappuis, F., & Loutan, L. (2011). Urbanisation and infectious diseases in a globalised world. *The Lancet Infectious Diseases, 11*(2), 131-141.

Alkire, S., Kanagaratnam, U., & Suppa, N. (2021). *The Global Multidimensional Poverty Index (MPI) 2020*: Oxford Poverty and Human Development Initiative, University of Oxford.

Allender, S., Foster, C., Hutchinson, L., & Arambepola, C. (2008). Quantification of urbanization in relation to chronic diseases in developing countries: a systematic review. *J Urban Health, 85*(6), 938-951.

Amoah, B., Giorgi, E., Heyes, D. J., van Burren, S., & Diggle, P. J. (2018). Geostatistical modelling of the association between malaria and child growth in Africa. *International Journal of Health Geographics, 17*(1), 7.

Amratia, P., Psychas, P., Abuaku, B., Ahorlu, C., Millar, J., Oppong, S., et al. (2019). Characterizing local-scale heterogeneity of malaria risk: a case

study in Bunkpurugu-Yunyoo district in northern Ghana. *Malar J, 18*(1), 81.

Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*: Springer.

Asante, K. P., Owusu-Agyei, S., Cairns, M., Dodoo, D., Boamah, E. A., Gyasi, R., et al. (2013). Placental malaria and the risk of malaria in infants in a high malaria transmission area in ghana: a prospective cohort study. *The Journal of Infectious Diseases, 208*(9), 1504-1513.

Assaf, S., & Juan, C. (2020a). Stunting and Anemia in Children from Urban Poor Environments in 28 Low and Middle-income Countries: A Meta-analysis of Demographic and Health Survey Data. *Nutrients, 12*(11).

Assaf, S., & Juan, C. (2020b). *Variations in health outcomes with alternative measures of urbanicity, using demographic and health surveys 2013-18*. Rockville, Maryland, USA: ICF.

Baidjoe, A. Y., Stevenson, J., Knight, P., Stone, W., Stresman, G., Osoti, V., et al. (2016). Factors associated with high heterogeneity of malaria at fine spatial scale in the Western Kenyan highlands. *Malaria Journal, 15*, 307.

Bannister-Tyrrell, M., Verdonck, K., Hausmann-Muela, S., Gryseels, C., Muela Ribera, J., & Peeters Grietens, K. (2017). Defining micro-epidemiology for malaria elimination: systematic review and meta-analysis. *Malar J, 16*(1), 164.

Baragatti, M., Fournet, F., Henry, M. C., Assi, S., Ouedraogo, H., Rogier, C., et al. (2009). Social and environmental malaria risk factors in urban areas of Ouagadougou, Burkina Faso. *Malar J, 8*, 13.

Beatriz, E. D., Molnar, B. E., Griffith, J. L., & Salhi, C. (2018). Urban-rural disparity and urban population growth: A multilevel analysis of under-5 mortality in 30 sub-Saharan African countries. *Health Place, 52*, 196-

204.

Bennett, A., Yukich, J., Miller, J. M., Keating, J., Moonga, H., Hamainza, B., et al. (2016). The relative contribution of climate variability and vector control coverage to changes in malaria parasite prevalence in Zambia 2006-2012. *Parasit Vectors, 9*(1), 431.

Betsinger, T. K., & DeWitte, S. N. (2021). Toward a bioarchaeology of urbanization: Demography, health, and behavior in cities in the past. *Am J Phys Anthropol, 175 Suppl 72*, 79-118.

Bhatt, S., Weiss, D. J., Cameron, E., Bisanzio, D., Mappin, B., Dalrymple, U., et al. (2015). The effect of malaria control on Plasmodium falciparum in Africa between 2000 and 2015. *Nature, 526*(7572), 207-211.

Birn, A.-E., Pillay, Y., & Holtz, T. H. (2017a). Health and the Environment *Textbook of Global Health* (4 ed., pp. 425-476). New York: Oxford University Press.

Birn, A.-E., Pillay, Y., & Holtz, T. H. (2017b). Political Economy of Health and Development *Textbook of Global Health* (4 ed.). New York: Oxford University Press.

Bisung, E., Dixon, J., & Luginaah, I. (2018). Development: The past, present and future contributions of health geography. In V. A., G. J. Crooks & J. P. Andrews (Eds.), *Routledge Handbook of Health Geography* (pp. 20-27): Routledge.

Boadi, K., Kuitunen, M., Raheem, K., & Hanninen, K. (2005). Urbanisation Without Development: Environmental and Health Implications in African Cities. *Environment, Development and Sustainability, 7*(4), 465-500.

Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P., & Rothstein, H. R. (2021).

Introduction to meta-analysis: John Wiley & Sons.

Bowen, W. M., & Gleeson, R. E. (2019). General Systems Theory, Evolution, and Human Settlements. In W. M. Bowen & R. E. Gleeson (Eds.), *The Evolution of Human Settlements: From Pleistocene Origins to Anthropocene Prospects* (pp. 21-42). Cham: Springer International Publishing.

Boyce, M. R., Katz, R., & Standley, C. J. (2019). Risk Factors for Infectious Diseases in Urban Environments of Sub-Saharan Africa: A Systematic Review and Critical Appraisal of Evidence. *Trop Med Infect Dis, 4*(4).

Brunsdon, C., Fotheringham, A., & Charlton, M. (2002). Geographically weighted summary statistics—a framework for localised exploratory data analysis. *Computers, Environment and Urban Systems, 26*(6), 501-524.

Bødker, R., Akida, J., Shayo, D., Kisinza, W., Msangeni, H. A., Pedersen, E. M., et al. (2003). Relationship Between Altitude and Intensity of Malaria Transmission in the Usambara Mountains, Tanzania. *Journal of Medical Entomology, 40*(5), 706-717.

Burgert, C. R., Colston, J., Roy, T., & Zachary, B. (2013). *Geographic Displacement Procedure and Georeferenced Data Release Policy*: ICF International.

Cairns, M. E., Walker, P. G., Okell, L. C., Griffin, J. T., Garske, T., Asante, K. P., et al. (2015). Seasonality in malaria transmission: implications for case-management with long-acting artemisinin combination therapy in sub-Saharan Africa. *Malaria Journal, 14*, 321.

Carrasco-Escobar, G., Fornace, K., & Benmarhnia, T. (2021). Mapping socioeconomic inequalities in malaria in Sub-Sahara African countries.

Sci Rep, 11(1), 15121.

Carrel, M., Patel, J., Taylor, S. M., Janko, M., Mwandagalirwa, M. K., Tshefu, A. K., et al. (2015). The geography of malaria genetics in the Democratic Republic of Congo: A complex and fragmented landscape. *Soc Sci Med, 133*, 233-241.

Champion, A. G., & Hugo, G. (2017). *New forms of urbanization: beyond the urban-rural dichotomy*: Routledge.

CIESIN, C. U. (2016). Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Density Adjusted to Match 2015 Revision UN WPP Country Totals. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC).

Clark, T. D., Greenhouse, B., Njama-Meya, D., Nzarubara, B., Maiteki-Sebuguzi, C., Staedke, S. G., et al. (2008). Factors determining the heterogeneity of malaria incidence in children in Kampala, Uganda. *J Infect Dis, 198*(3), 393-400.

Coovadia, H., & Friedman, I. (2015). Reducing health inequalities in developing countries. In R. Detels, M. Gulliford, Q. A. Karim & C. C. Tan (Eds.), *Oxford Textbook of Global Public Health* (Vol. 1): Oxford University Press.

Corburn, J., & Sverdlik, A. (2019). Informal Settlements and Human Health *Integrating Human Health into Urban and Transport Planning* (pp. 155-171).

Corker, J. (2017). Fertility and Child Mortality in Urban West Africa: Leveraging geo-referenced data to move beyond the urban/rural dichotomy. *Popul Space Place, 23*(3).

Cyril, S., Oldroyd, J. C., & Renzaho, A. (2013). Urbanisation, urbanicity, and

health: a systematic review of the reliability and validity of urbanicity scales. *BMC Public Health, 13*(1), 513.

Dabaro, D., Birhanu, Z., Negash, A., Hawaria, D., & Yewhalaw, D. (2021). Effects of rainfall, temperature and topography on malaria incidence in elimination targeted district of Ethiopia. *Malar J, 20*(1), 104.

Dahly, D. L., & Adair, L. S. (2007). Quantifying the urban environment: a scale measure of urbanicity outperforms the urban-rural dichotomy. *Soc Sci Med, 64*(7), 1407-1419.

De Silva, P. M., & Marshall, J. M. (2012). Factors contributing to urban malaria transmission in sub-saharan Africa: a systematic review. *J Trop Med, 2012*, 819563.

Dear, N. F., Kadangwe, C., Mzilahowa, T., Bauleni, A., Mathanga, D. P., Duster, C., et al. (2018). Household-level and surrounding peri-domestic environmental characteristics associated with malaria vectors Anopheles arabiensis and Anopheles funestus along an urban-rural continuum in Blantyre, Malawi. *Malar J, 17*(1), 229.

Degarege, A., Fennie, K., Degarege, D., Chennupati, S., & Madhivanan, P. (2019). Improving socioeconomic status may reduce the burden of malaria in sub Saharan Africa: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One, 14*(1), e0211205.

Delprato, M., & Sabates, R. (2014). A multilevel analysis of late entry in Nigeria. *International Journal of Research & Method in Education, 38*(1), 83-99.

Deutsch-Feldman, M., Brazeau, N. F., Parr, J. B., Thwai, K. L., Muwonga, J., Kashamuka, M., et al. (2020). Spatial and epidemiological drivers of Plasmodium falciparum malaria among adults in the Democratic Republic of the Congo. *BMJ Glob Health, 5*(6).

DeVellis, R. F. (2003). *Scale Development: Theory and Applications, 2nd ed*: SAGE Publications.

Devi, N. P., & Jauhari, R. K. (2006). Climatic variables and malaria incidence in Dehradun, Uttaranchal, India. *Journal of vector borne diseases, 43*(1), 21-28.

DHS. (2012). DHS Sampling and Household Listing Manual.

Dijkstra, L., Florczyk, A. J., Freire, S., Kemper, T., Melchiorri, M., Pesaresi, M., et al. (2021). Applying the Degree of Urbanisation to the globe: A new harmonised definition reveals a different picture of global urbanisation. *Journal of Urban Economics, 125*.

Domarle, O., Razakandrainibe, R., Rakotomalala, E., Jolivet, L., Randremanana, R. V., Rakotomanana, F., et al. (2006). Seroprevalence of malaria in inhabitants of the urban zone of Antananarivo, Madagascar. *Malaria Journal, 5*(1), 106.

Dos Santos, S., Rautu, I., Diop, M., Abdou Illou, M. M., Ndonky, A., Le Hesran, J.-Y., et al. (2014). The influence of environmental factors on childhood fever during the rainy season in an African city: a multilevel approach in Dakar, Senegal. *Population and Environment, 36*(4), 429-451.

Doumbe-Belisse, P., Kopya, E., Ngadjeu, C. S., Sonhafouo-Chiana, N., Talipouo, A., Djamouko-Djonkam, L., et al. (2021). Urban malaria in sub-Saharan Africa: dynamic of the vectorial system and the entomological inoculation rate. *Malar J, 20*(1), 364.

Dreher, A., Fuchs, A., Hodler, R., Parks, B. C., Raschky, P. A., & Tierney, M. J. (2019). African leaders and the geography of China's foreign assistance. *Journal of Development Economics, 140*, 44-71.

Dummer, T. J. (2008). Health geography: supporting public health policy and planning. *CMAJ, 178*(9), 1177-1180.

Eckert, S., & Kohler, S. (2014). Urbanization and health in developing countries: a systematic review. *World health & population, 15*(1), 7-20.

Elhorst, J. P. (2010). Applied Spatial Econometrics: Raising the Bar. *Spatial Economic Analysis, 5*(1), 9-28.

Elhorst, J. P. (2014). *Spatial econometrics: from cross-sectional data to spatial panels*: Springer.

Endo, N., & Eltahir, E. A. (2016). Environmental determinants of malaria transmission in African villages. *Malar J, 15*(1), 578.

Ernst, K. C., Adoka, S. O., Kowuor, D. O., Wilson, M. L., & John, C. C. (2006). Malaria hotspot areas in a highland Kenya site are consistent in epidemic and non-epidemic years and are associated with ecological factors. *Malar J, 5*, 78.

EU-JRC. (2020). *Atlas of the Human Planet 2020*: European Commission, Joint Research Centre (JRC).

EU, FAO, UN-Habitat, OECD, & WB. (2021). *Applying the Degree of Urbanisation: A methodological manual to define cities, towns and rural areas for international comparisons (2021 edition)*: European Union/FAO/UN-Habitat/OECD/The World Bank.

Ferrari, G., Ntuku, H. M., Ross, A., Schmidlin, S., Kalemwa, D. M., Tshefu, A. K., et al. (2016). Identifying risk factors for Plasmodium infection and anaemia in Kinshasa, Democratic Republic of Congo. *Malar J, 15*, 362.

Fink, G., Gunther, I., & Hill, K. (2014). Slum residence and child health in developing countries. *Demography, 51*(4), 1175-1197.

Fish, T. D., Janocha, B., Dontamsetti, T., & Mayala, B. K. (2020). *Geospatial*

covariates: proxies for mapping urban-related indicators. Rockville, Maryland, USA: ICF.

Florczyk, A., Melchiorri, M., Corbane, C., Schiavina, M., Maffenini, M., Pesaresi, M., et al. (2019). *Description of the GHS urban centre database 2015*: European Commission, Joint Research Centre (JRC).

Florczyk, A. J., Corbane, C., Ehrlich, D., Freire, S., Kemper, T., Maffenini, L., et al. (2019). *GHSL Data Package 2019*: Publications Office of the European Union.

Florey, L., & Taylor, C. (2016). *Using household survey data to explore the effects of improved housing conditions on malaria infection in children in Sub-Saharan Africa*. Rockville, Maryland, USA: ICF International.

Fobil, J. N., Levers, C., Lakes, T., Loag, W., Kraemer, A., & May, J. (2012). Mapping urban malaria and diarrhea mortality in Accra, Ghana: evidence of vulnerabilities and implications for urban health policy. *J Urban Health, 89*(6), 977-991.

Forget, Y., Shimoni, M., Gilbert, M., & Linard, C. (2021). Mapping 20 Years of Urban Expansion in 45 Urban Areas of Sub-Saharan Africa. *Remote Sensing, 13*(3).

Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2003). *Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships*: John Wiley & Sons.

Fotso, J. C. (2007). Urban-rural differentials in child malnutrition: trends and socioeconomic correlates in sub-Saharan Africa. *Health Place, 13*(1), 205-223.

Frank, C., Krumkamp, R., Sarpong, N., Sothmann, P., Fobil, J. N., Foli, G., et

al. (2016). Spatial heterogeneity of malaria in Ghana: a cross-sectional study on the association between urbanicity and the acquisition of immunity. *Malar J, 15*, 84.

Galea, S., Freudenberg, N., & Vlahov, D. (2005). Cities and population health. *Soc Sci Med, 60*(5), 1017-1033.

Gething, P. W., Patil, A. P., Smith, D. L., Guerra, C. A., Elyazar, I. R. F., Johnston, G. L., et al. (2011). A new world malaria map: Plasmodium falciparum endemicity in 2010. *Malaria Journal, 10*(1), 378.

Giardina, F., Gosoniu, L., Konate, L., Diouf, M. B., Perry, R., Gaye, O., et al. (2012). Estimating the burden of malaria in Senegal: Bayesian zero-inflated binomial geostatistical modeling of the MIS 2008 data. *PLoS One, 7*(3), e32625.

Gomes, M. F. C., Codeco, C. T., Bastos, L. S., & Lana, R. M. (2020). Measuring the contribution of human mobility to malaria persistence. *Malar J, 19*(1), 404.

Gosoniu, L., Msengwa, A., Lengeler, C., & Vounatsou, P. (2012). Spatially explicit burden estimates of malaria in Tanzania: bayesian geostatistical modeling of the malaria indicator survey data. *PLoS One, 7*(5), e23966.

Griffin, J. T., Ferguson, N. M., & Ghani, A. C. (2014). Estimates of the changing age-burden of Plasmodium falciparum malaria disease in sub-Saharan Africa. *Nat Commun, 5*, 3136.

Günther, I., & Harttgen, K. (2012). Deadly Cities? Spatial Inequalities in Mortality in sub-Saharan Africa. *Population and Development Review, 38*(3), 469-486.

Guerra, C. A., Howes, R. E., Patil, A. P., Gething, P. W., Van Boeckel, T. P.,

Temperley, W. H., et al. (2010). The international limits and population at risk of Plasmodium vivax transmission in 2009. *PLoS Negl Trop Dis, 4*(8), e774.

Hart, L. G., Larson, E. H., & Lishner, D. M. (2005). Rural Definitions for Health Policy and Research. *American Journal of Public Health, 95*(7), 1149-1155.

Hay, S. I., Guerra, C. A., Tatem, A. J., Atkinson, P. M., & Snow, R. W. (2005). Urbanization, malaria transmission and disease burden in Africa. *Nature Reviews Microbiology, 3*(1), 81-90.

Helbich, M., Bluml, V., de Jong, T., Plener, P. L., Kwan, M. P., & Kapusta, N. D. (2017). Urban-rural inequalities in suicide mortality: a comparison of urbanicity indicators. *Int J Health Geogr, 16*(1), 39.

Henderson, J. V., Liu, V., Peng, C., & Storeygard, A. (2019). *Demographic and health outcomes by Degree of Urbanisation: Perspectives from a new classification of urban areas*. Luxembourg: European Union.

Hiatt, R. A., Engmann, N. J., Ahmed, M., Amarsi, Y., Macharia, W. M., Macfarlane, S. B., et al. (2017). Population Health Science: A Core Element of Health Science Education in Sub-Saharan Africa. *Acad Med, 92*(4), 462-467.

Higgins, J. P. T., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., et al. (2019). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*: John Wiley & Sons.

Hoffman-Hall, A., Puett, R., Silva, J. A., Chen, D., Baer, A., Han, K. T., et al. (2020). Malaria Exposure in Ann Township, Myanmar, as a Function of Land Cover and Land Use: Combining Satellite Earth Observations and Field Surveys. *Geohealth, 4*(12), e2020GH000299.

Hopkins, H., Talisuna, A., Whitty, C. J., & Staedke, S. G. (2007). Impact of home-based management of malaria on health outcomes in Africa: a systematic review of the evidence. *Malar J, 6*, 134.

Houngbedji, C. A., N̓ Dri, P. B., Hürlimann, E., Yapi, R. B., Silué, K. D., Soro, G., et al. (2015). Disparities of Plasmodium falciparum infection, malaria-related morbidity and access to malaria prevention and treatment among school-aged children: a national cross-sectional survey in Côte d̓ Ivoire. *Malaria Journal, 14*(1), 7.

Hox, J. J., Moerbeek, M., & Van de Schoot, R. (2017). *Multilevel analysis: Techniques and applications*: Routledge.

Jiamjarasrangsi, W., Aekplakorn, W., & Vimolkej, T. (2016). Validation and comparison study of three urbanicity scales in a Thailand context. *BMC Public Health, 16*, 34.

Jones-Smith, J. C., & Popkin, B. M. (2010). Understanding community context and adult health changes in China: development of an urbanicity scale. *Soc Sci Med, 71*(8), 1436-1446.

Jones, A. D., Acharya, Y., & Galway, L. P. (2016). Urbanicity Gradients Are Associated with the Household- and Individual-Level Double Burden of Malnutrition in Sub-Saharan Africa. *J Nutr, 146*(6), 1257-1267.

Kabaria, C. W., Gilbert, M., Noor, A. M., Snow, R. W., & Linard, C. (2017). The impact of urbanization and population density on childhood Plasmodium falciparum parasite prevalence rates in Africa. *Malar J, 16*(1), 49.

Kabaria, C. W., Molteni, F., Mandike, R., Chacky, F., Noor, A. M., Snow, R. W., et al. (2016). Mapping intra-urban malaria risk using high resolution satellite imagery: a case study of Dar es Salaam. *Int J Health Geogr,*

15(1), 26.

Kar, N. P., Kumar, A., Singh, O. P., Carlton, J. M., & Nanda, N. (2014). A review of malaria transmission dynamics in forest ecosystems. *Parasites & Vectors, 7*(1), 265.

Kasarda, J. D., & Crenshaw, E. M. (1991). Third World urbanization: dimensions, theories, and determinants. [Article]. *Annual review of sociology. Vol. 17*, 467-501.

Kasili, S., Odemba, N., Ngere, F. G., Kamanza, J. B., Muema, A. M., & Kutima, H. L. (2009). Entomological assessment of the potential for malaria transmission in Kibera slum of Nairobi, Kenya. *Journal of vector borne diseases, 46*(4), 273-279.

Kateera, F., Ingabire, C. M., Hakizimana, E., Kalinda, P., Mens, P. F., Grobusch, M. P., et al. (2015). Malaria, anaemia and under-nutrition: three frequently co-existing conditions among preschool children in rural Rwanda. *Malar J, 14*, 440.

Kazembe, L. N., & Mathanga, D. P. (2016). Estimating risk factors of urban malaria in Blantyre, Malawi: A spatial regression analysis. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 6*(5), 376-381.

Keiser, J., Utzinger, J. R., De Castro, M. C., Smith, T. A., Tanner, M., & Singer, B. H. (2004). Urbanization in Sub-Saharan Africa and Implication for Malaria Control. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene Am J Trop Med Hyg, 71*(2_suppl), 118-127.

Kesteman, T., Randrianarivelojosia, M., & Rogier, C. (2017). The protective effectiveness of control interventions for malaria prevention: a systematic review of the literature. *F1000Res, 6*, 1932.

Kienberger, S., & Hagenlocher, M. (2014). Spatial-explicit modeling of social

vulnerability to malaria in East Africa. *International Journal of Health Geographics, 13*(1), 29.

Kigozi, S. P., Pindolia, D. K., Smith, D. L., Arinaitwe, E., Katureebe, A., Kilama, M., et al. (2015). Associations between urbanicity and malaria at local scales in Uganda. *Malaria Journal, 14*(1).

Killeen, G. F., Govella, N. J., Mlacha, Y. P., & Chaki, P. P. (2019). Suppression of malaria vector densities and human infection prevalence associated with scale-up of mosquito-proofed housing in Dar es Salaam, Tanzania: re-analysis of an observational series of parasitological and entomological surveys. *The Lancet Planetary Health, 3*(3), e132-e143.

Kipruto, E. K., Ochieng, A. O., Anyona, D. N., Mbalanya, M., Mutua, E. N., Onguru, D., et al. (2017). Effect of climatic variability on malaria trends in Baringo County, Kenya. *Malaria Journal, 16*(1), 220.

Klinkenberg, E., McCall, P., Wilson, M. D., Amerasinghe, F. P., & Donnelly, M. J. (2008). Impact of urban agriculture on malaria vectors in Accra, Ghana. *Malar J, 7*, 151.

Labonte, R., & Torgerson, R. (2005). Interrogating globalization, health and development: Towards a comprehensive framework for research, policy and political action. *Critical Public Health, 15*(2), 157-179.

Larson, P. S., Eisenberg, J. N. S., Berrocal, V. J., Mathanga, D. P., & Wilson, M. L. (2021). An urban-to-rural continuum of malaria risk: new analytic approaches characterize patterns in Malawi. *Malar J, 20*(1), 418.

Lee, H., Kim, D., Lee, S., & Fawcett, J. (2020). The concepts of health inequality, disparities and equity in the era of population health. *Appl Nurs Res, 56*, 151367.

LeSage, J., & Pace, R. K. (2009). *Introduction to spatial econometrics*:

Chapman and Hall/CRC.

Linard, C., & Tatem, A. J. (2012). Large-scale spatial population databases in infectious disease research. *International Journal of Health Geographics, 11*(1), 7.

Lindsay, S. W., Jawara, M., Paine, K., Pinder, M., Walraven, G. E. L., & Emerson, P. M. (2003). Changes in house design reduce exposure to malaria mosquitoes. *Tropical Medicine & International Health, 8*(6), 512-517.

Lindsay, S. W., & Martens, W. J. (1998). Malaria in the African highlands: past, present and future. *Bulletin of the World Health Organization, 76*(1), 33-45.

Liu, J. X., Bousema, T., Zelman, B., Gesase, S., Hashim, R., Maxwell, C., et al. (2014). Is housing quality associated with malaria incidence among young children and mosquito vector numbers? Evidence from Korogwe, Tanzania. *PLoS One, 9*(2), e87358.

Lourenco, A. E. (2012). The meaning of 'rural' in rural health: a review and case study from Brazil. *Glob Public Health, 7*(1), 1-13.

Loy, D. E., Liu, W., Li, Y., Learn, G. H., Plenderleith, L. J., Sundararaman, S. A., et al. (2017). Out of Africa: origins and evolution of the human malaria parasites Plasmodium falciparum and Plasmodium vivax. *Int J Parasitol, 47*(2-3), 87-97.

Lynch, C., & Roper, C. (2011). The transit phase of migration: circulation of malaria and its multidrug-resistant forms in Africa. *PLoS Med, 8*(5), e1001040.

Majumdar, S., Mani, A., & Mukand, S. W. (2004). Politics, information and the urban bias. *Journal of Development Economics, 75*(1), 137-165.

Malede, A., Alemu, K., Aemero, M., Robele, S., & Kloos, H. (2018). Travel to

farms in the lowlands and inadequate malaria information significantly predict malaria in villages around Lake Tana, northwest Ethiopia: a matched case-control study. *Malar J, 17*(1), 290.

Martens, P., & Hall, L. (2000). Malaria on the move: human population movement and malaria transmission. *Emerging infectious diseases, 6*(2), 103-109.

Marty, R., Dolan, C. B., Leu, M., & Runfola, D. (2017). Taking the health aid debate to the subnational level: the impact and allocation of foreign health aid in Malawi. *BMJ Glob Health, 2*(1), e000129.

Mathanga, D. P., Tembo, A. K., Mzilahowa, T., Bauleni, A., Mtimaukenena, K., Taylor, T. E., et al. (2016). Patterns and determinants of malaria risk in urban and peri-urban areas of Blantyre, Malawi. *Malar J, 15*(1), 590.

Matthys, B., Vounatsou, P., Raso, G., Tschannen, A. B., Becket, E. G., Gosoniu, L., et al. (2006). Urban farming and malaria risk factors in a medium-sized town in Cote d'Ivoire. *The American journal of tropical medicine and hygiene, 75*(6), 1223-1231.

Maxwell, C. A., Chambo, W., Mwaimu, M., Magogo, F., Carneiro, I. A., & Curtis, C. F. (2003). Variation of malaria transmission and morbidity with altitude in Tanzania and with introduction of alphacypermethrin treated nets. *Malaria Journal, 2*(1), 28.

Mayala, B., Fish, T., Eitelberg, D., & Dontamsetti, T. (2018). *The Geospatial Covariate Datasets Manual*. Rockville, Maryland, USA: The DHS Program, ICF.

Mbacham, W. F., Ayong, L., Guewo-Fokeng, M., & Makoge, V. (2019). Current situation of malaria in Africa *Malaria Control and Elimination* (pp. 29-44): Springer.

McCord, G. C., Conley, D., & Sachs, J. D. (2017). Malaria ecology, child mortality & fertility. *Econ Hum Biol, 24*, 1-17.

McDade, T. W., & Adair, L. S. (2001). Defining the "urban" in urbanization and health: a factor analysis approach. *Social Science & Medicine, 53*(1), 55-70.

McMichael, A. J. (2000, 2000/09//). The urban environment and health in a world of increasing globalization: issues for developing countries. *Bulletin of the World Health Organization, 78,* 1117.

Messina, J. P., Taylor, S. M., Meshnick, S. R., Linke, A. M., Tshefu, A. K., Atua, B., et al. (2011). Population, behavioural and environmental drivers of malaria prevalence in the Democratic Republic of Congo. *Malar J, 10*(1), 161.

Mfueni Bikundi, E., & Coppieters, Y. (2017). Importance of risk factors associated with malaria for Sub-Saharan African children. *Int J Environ Health Res, 27*(5), 394-408.

Mosha, J. F., Sturrock, H. J. W., Brown, J. M., Hashim, R., Kibiki, G., Chandramohan, D., et al. (2014). The independent effect of living in malaria hotspots on future malaria infection: an observational study from Misungwi, Tanzania. *Malaria Journal, 13*(1), 445.

Mosley, W. H., & Chen, L. C. (1984). An Analytical Framework for the Study of Child Survival in Developing Countries. *Population and Development Review, 10*, 25-45.

Murray, C. J. L., Ezzati, M., Flaxman, A. D., Lim, S., Lozano, R., Michaud, C., et al. (2012). GBD 2010: design, definitions, and metrics. *The Lancet, 380*(9859), 2063-2066.

Murray, C. J. L., Rosenfeld, L. C., Lim, S. S., Andrews, K. G., Foreman, K. J.,

Haring, D., et al. (2012). Global malaria mortality between 1980 and 2010: a systematic analysis. *The Lancet, 379*(9814), 413-431.

NCEI, N. (2015). 2015 VIIRS Nighttime Lights Annual Composite. from https://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html

Netemeyer, R. G., Bearden, W. O., & Sharma, S. (2003). *Scaling procedures: Issues and applications*: Sage Publications.

Njuguna, H. N., Montgomery, J. M., Cosmas, L., Wamola, N., Oundo, J. O., Desai, M., et al. (2016). Malaria Parasitemia Among Febrile Patients Seeking Clinical Care at an Outpatient Health Facility in an Urban Informal Settlement Area in Nairobi, Kenya. *Am J Trop Med Hyg, 94*(1), 122-127.

Noor, A. M., Alegana, V. A., Gething, P. W., Tatem, A. J., & Snow, R. W. (2008). Using remotely sensed night-time light as a proxy for poverty in Africa. *Popul Health Metr, 6*, 5.

Novak, N. L., Allender, S., Scarborough, P., & West, D. (2012). The development and validation of an urbanicity scale in a multi-country study. *BMC Public Health, 12*(1), 530.

Ofori-Amoah, B. (2019). Cities, Towns, and Villages. In B. Ofori-Amoah (Ed.), *Africa's Geography: Dynamics of Place, Cultures, and Economies*: John Wiley & Sons.

Öhler, H., Negre, M., Smets, L., Massari, R., & Bogetic, Z. (2019). Putting your money where your mouth is: Geographic targeting of World Bank projects to the bottom 40 percent. *PLoS One, 14*(6), e0218671.

Omumbo, J. A., Guerra, C. A., Hay, S. I., & Snow, R. W. (2005). The influence of urbanisation on measures of Plasmodium falciparum infection prevalence in East Africa. *Acta Trop, 93*(1), 11-21.

Pacione, M. (2009). Concepts and theory in urban geography. In M. Pacione (Ed.), *Urban Geography: A Global Perspective, Third Edition*: Routledge.

Papaioannou, I., Utzinger, J., & Vounatsou, P. (2019). Malaria-anemia comorbidity prevalence as a measure of malaria-related deaths in sub-Saharan Africa. *Sci Rep, 9*(1), 11323.

Paton, R. S., Kamau, A., Akech, S., Agweyu, A., Ogero, M., Mwandawiro, C., et al. (2021). Malaria infection and severe disease risks in Africa. *Science, 373*(6557), 926-931.

Paul, P., Kangalawe, R. Y. M., & Mboera, L. E. G. (2018). Land-use patterns and their implication on malaria transmission in Kilosa District, Tanzania. *Trop Dis Travel Med Vaccines, 4*, 6.

Pesaresi, M., Ehrilch, D., Florczyk, A. J., Freire, S., Julea, A., Kemper, T., et al. (2015). GHS built-up grid, derived from Landsat, multitemporal (1975, 1990, 2000, 2014), *European Commission, Joint Research Centre (JRC)*.

Pesaresi, M., & Freire, S. (2016, 2019). GHS-SMOD R2016A - GHS settlement grid, following the REGIO model 2014 in application to GHSL Landsat and CIESIN GPW v4-multitemporal (1975-1990-2000-2015).

Peterson, I., Borrell, L. N., El-Sadr, W., & Teklehaimanot, A. (2009). A temporal-spatial analysis of malaria transmission in Adama, Ethiopia. *Am J Trop Med Hyg, 81*(6), 944-949.

Pond, B. S. (2013). Malaria indicator surveys demonstrate a markedly lower prevalence of malaria in large cities of sub-Saharan Africa. *Malaria Journal, 12*(1), 313.

Protopopoff, N., Van Bortel, W., Speybroeck, N., Van Geertruyden, J. P., Baza, D., D'Alessandro, U., et al. (2009). Ranking malaria risk factors to guide malaria control efforts in African highlands. *PLoS One, 4*(11), e8022.

Pullan, R. L., Kabatereine, N. B., Bukirwa, H., Staedke, S. G., & Brooker, S. (2011). Heterogeneities and consequences of Plasmodium species and hookworm coinfection: a population based study in Uganda. *J Infect Dis, 203*(3), 406-417.

Pumain, D. (2017). An evolutionary approach to settlement systems. In A. G. Champion & G. Hugo (Eds.), *New forms of urbanization: beyond the urban-rural dichotomy* (pp. 231-247): Routledge.

Qi, Q., Guerra, C. A., Moyes, C. L., Elyazar, I. A. R. F., Gething, P. W., Hay, S. I., et al. (2012). The effects of urbanization on global Plasmodium vivax malaria transmission. *Malaria Journal, 11*(1), 403.

Reyes, R., Ahn, R., Thurber, K., & Burke, T. F. (2013). Urbanization and Infectious Diseases: General Principles, Historical Perspectives, and Contemporary Challenges. In I. W. Fong (Ed.), *Challenges in Infectious Diseases* (pp. 123-146). New York, NY: Springer New York.

Ricci, F. (2012). Social implications of malaria and their relationships with poverty. *Mediterr J Hematol Infect Dis, 4*(1), e2012048.

Riedel, N., Vounatsou, P., Miller, J. M., Gosoniu, L., Chizema-Kawesha, E., Mukonka, V., et al. (2010). Geographical patterns and predictors of malaria risk in Zambia: Bayesian geostatistical modelling of the 2006 Zambia national malaria indicator survey (ZMIS). *Malaria Journal, 9*(1), 37.

Robert, V., Macintyre, K., Keating, J., Trape, J.-F., Duchemin, J.-B., Warren, M., et al. (2003). Malaria transmission in urban sub-Saharan Africa. *The American journal of tropical medicine and hygiene, 68*(2), 169-176.

Rosas-Aguirre, A., Ponce, O. J., Carrasco-Escobar, G., Speybroeck, N.,

Contreras-Mancilla, J., Gamboa, D., et al. (2015). Plasmodium vivax malaria at households: spatial clustering and risk factors in a low endemicity urban area of the northwestern Peruvian coast. *Malar J, 14*, 176.

Rutstein, S. O., Staveteig, S., Winter, R., & Yourkavitch, J. (2016). *Urban child poverty, health, and survival in low- and middle-income countries*. Rockville, Maryland, USA: ICF.

Sadoine, M. L., Smargiassi, A., Ridde, V., Tusting, L. S., & Zinszer, K. (2018). The associations between malaria, interventions, and the environment: a systematic review and meta-analysis. *Malar J, 17*(1), 73.

Sampson, L., Ettman, C. K., & Galea, S. (2020). Urbanization, urbanicity, and depression: a review of the recent global literature. *Curr Opin Psychiatry, 33*(3), 233-244.

Satcher, D., & Rachel, S. A. (2010). Eliminating Global Health Inequities: Bridging the Gap. In R. G. Parker & M. Sommer (Eds.), *Routledge Handbook of Global Public Health* (pp. 106-113). Abingdon, UK: Routledge.

Schiavina, M., Moreno-Monroy, A., Maffenini, L., & Veneri, P. (2019). *GHSL-OECD Functional Urban Areas 2019*. Luxembourg: : European Commission, Joint Research Centre (JRC).

Sedda, L., Qi, Q., & Tatem, A. J. (2015). A geostatistical analysis of the association between armed conflicts and Plasmodium falciparum malaria in Africa, 1997-2010. *Malar J, 14*, 500.

Semakula, H. M., Song, G., Achuu, S. P., & Zhang, S. (2016). A Bayesian belief network modelling of household factors influencing the risk of malaria: A study of parasitaemia in children under five years of age in sub-

Saharan Africa. *Environmental Modelling & Software, 75*, 59-67.

Service, M., & Townson, H. (2002). The Anopheles vector. In H. Gilles & D. Warrell (Eds.), *Essential Malariology* (Fourth edition ed., pp. 59-84): Arnold London.

Sinka, M. E., Bangs, M. J., Manguin, S., Rubio-Palis, Y., Chareonviriyaphap, T., Coetzee, M., et al. (2012). A global map of dominant malaria vectors. *Parasites & Vectors, 5*(1), 69.

Siraj, A. S., Santos-Vega, M., Bouma, M. J., Yadeta, D., Carrascal, D. R., & Pascual, M. (2014). Altitudinal Changes in Malaria Incidence in Highlands of Ethiopia and Colombia. *Science, 343*(6175), 1154-1158.

Siri, J. G., Lindblade, K. A., Rosen, D. H., Onyango, B., Vulule, J., Slutsker, L., et al. (2008). Quantitative urban classification for malaria epidemiology in sub-Saharan Africa. *Malar J, 7*, 34.

Siri, J. G., Wilson, M. L., Murray, S., Rosen, D. H., Vulule, J. M., Slutsker, L., et al. (2010). Significance of travel to rural areas as a risk factor for malarial anemia in an urban setting. *Am J Trop Med Hyg, 82*(3), 391-397.

Smith, D. L., Guerra, C. A., Snow, R. W., & Hay, S. I. (2007). Standardizing estimates of the Plasmodium falciparum parasite rate. *Malaria Journal, 6*(1), 131.

Snow, R. W. (2015). Global malaria eradication and the importance of Plasmodium falciparum epidemiology in Africa. *BMC Med, 13*, 23.

Sorvillo, F., Shafir, S., & Bristow, B. (2015). Malaria. In R. Detels, M. Gulliford, Q. A. Karim & C. C. Tan (Eds.), *Oxford Textbook of Global Public Health* (pp. 1161-1174): Oxford University Press.

Ssempiira, J., Nambuusi, B., Kissa, J., Agaba, B., Makumbi, F., Kasasa, S., et al.

(2017). The contribution of malaria control interventions on spatio-temporal changes of parasitaemia risk in Uganda during 2009-2014. *Parasit Vectors, 10*(1), 450.

Stevens, F. R., Gaughan, A. E., Nieves, J. J., King, A., Sorichetta, A., Linard, C., et al. (2019). Comparisons of two global built area land cover datasets in methods to disaggregate human population in eleven countries from the global South. *International Journal of Digital Earth, 13*(1), 78-100.

Tatem, A. J., Gething, P. W., Smith, D. L., & Hay, S. I. (2013). Urbanization and the global malaria recession. *Malaria Journal, 12*(1), 133.

Tatem, A. J., Guerra, C. A., Kabaria, C. W., Noor, A. M., & Hay, S. I. (2008). Human population, urban settlement patterns and their impact on Plasmodium falciparum malaria endemicity. *Malar J, 7*, 218.

Tatem, A. J., & Hay, S. I. (2004). Measuring urbanization pattern and extent for malaria research: a review of remote sensing approaches. *J Urban Health, 81*(3), 363-376.

Tejedor-Garavito, N., Dlamini, N., Pindolia, D., Soble, A., Ruktanonchai, N. W., Alegana, V., et al. (2017). Travel patterns and demographic characteristics of malaria cases in Swaziland, 2010-2014. *Malar J, 16*(1), 359.

Terashima, M., Read Guernsey, J., & Andreou, P. (2014). What type of rural? Assessing the variations in life expectancy at birth at small area-level for a small population province using classes of locally defined settlement types. *BMC Public Health, 14*(1), 162.

Tonnang, H. E. Z., Kangalawe, R. Y. M., & Yanda, P. Z. (2010). Predicting and mapping malaria under climate change scenarios: the potential redistribution of malaria vectors in Africa. *Malaria Journal, 9*(1), 111.

Tonne, C., Adair, L., Adlakha, D., Anguelovski, I., Belesova, K., Berger, M., et al. (2021). Defining pathways to healthy sustainable urban development. *Environ Int, 146*, 106236.

Tusting, L. S., Bottomley, C., Gibson, H., Kleinschmidt, I., Tatem, A. J., Lindsay, S. W., et al. (2017). Housing Improvements and Malaria Risk in Sub-Saharan Africa: A Multi-Country Analysis of Survey Data. *PLoS Med, 14*(2), e1002234.

Tusting, L. S., Gething, P. W., Gibson, H. S., Greenwood, B., Knudsen, J., Lindsay, S. W., et al. (2020). Housing and child health in sub-Saharan Africa: A cross-sectional analysis. *PLoS Med, 17*(3), e1003055.

Tusting, L. S., Ippolito, M. M., Willey, B. A., Kleinschmidt, I., Dorsey, G., Gosling, R. D., et al. (2015). The evidence for improving housing to reduce malaria: a systematic review and meta-analysis. *Malar J, 14*, 209.

UN-DESA. (2019). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision: United Nations, Department of Economic and Social Affairs New York, NY, USA.

UN-Habitat. (1976). *The Vancouver declaration on human settlements*.

UN-Habitat. (2006). State of the World s Cities 2006/2007: The Millenium Development Goals and Urban Sustainability.

UN-Habitat. (2008). State of the World's Cities 2008/9: Harmonious Cities.

UN-Habitat. (2018). *SDG Indicator 11.1.1 Training Module: Adequate Housing and Slum Upgrading*. Nairobi: UN-Habitat.

UN-Habitat. (2020). *World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization*: UN-Habitat.

UN. (2016). *The Millennium Development Goals Report 2015*.

UN. (2017). *Principles and Recommendations for Population and Housing*

Censuses, Revision 3: UN.

UN. (2019). *The Sustainable Development Report 2019*.

Valorie, A. C., Gavin, J. A., Jamie, P., & Marcie, S. (2018). Introducing the Routledge Handbook of Health Geography *Routledge Handbook of Health Geography*: Routledge.

Van de Poel, E., O'Donnell, O., & Van Doorslaer, E. (2007). Are urban children really healthier? Evidence from 47 developing countries. *Soc Sci Med, 65*(10), 1986-2003.

Vlahov, D., Freudenberg, N., Proietti, F., Ompad, D., Quinn, A., Nandi, V., et al. (2007). Urban as a determinant of health. *J Urban Health, 84*(3 Suppl), i16-26.

Vlahov, D., & Galea, S. (2002). Urbanization, urbanicity, and health. *Journal of Urban Health, 79*(1), S1-S12.

Wang, S.-J., Lengeler, C., Mtasiwa, D., Mshana, T., Manane, L., Maro, G., et al. (2006). Rapid Urban Malaria Appraisal (RUMA) II: Epidemiology of urban malaria in Dar es Salaam (Tanzania). *Malaria Journal, 5*(1), 28.

Wang, S. J., Lengeler, C., Smith, T. A., Vounatsou, P., Akogbeto, M., & Tanner, M. (2006). Rapid Urban Malaria Appraisal (RUMA) IV: epidemiology of urban malaria in Cotonou (Benin). *Malar J, 5*, 45.

Wang, S. J., Lengeler, C., Smith, T. A., Vounatsou, P., Diadie, D. A., Pritroipa, X., et al. (2005). Rapid urban malaria appraisal (RUMA) I: epidemiology of urban malaria in Ouagadougou. *Malar J, 4*, 43.

Weiss, D. J., Lucas, T. C. D., Nguyen, M., Nandi, A. K., Bisanzio, D., Battle, K. E., et al. (2019). Mapping the global prevalence, incidence, and mortality of Plasmodium falciparum, 2000– 17: a spatial and temporal modelling study. *The Lancet, 394*(10195), 322-331.

Weiss, D. J., Nelson, A., Gibson, H. S., Temperley, W., Peedell, S., Lieber, A., et al. (2018). A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015. *Nature, 553*(7688), 333-336.

Wesolowski, A., Eagle, N., Tatem, A. J., Smith, D. L., Noor, A. M., Snow, R. W., et al. (2012). Quantifying the Impact of Human Mobility on Malaria. *Science, 338*(6104), 267.

WHO-AFRO. (2020). *The Work of the World Health Organization in the African Region. Report of the Regional Director 1 July 2019–30 June 2020.*

WHO. (2015). *Global technical strategy for malaria 2016-2030.*

WHO. (2019). *World malaria report 2019.*

WHO. (2020). *World malaria report 2020: 20 years of global progress and challenges.*

WHO. (2021a). *WHO Guidelines for malaria.*

WHO. (2021b). *World malaria report 2021.*

WHO·UNICEF. (2003). *The Africa malaria report 2003.* Geneva: WHO.

Wilson, M. L., Krogstad, D. J., Arinaitwe, E., Arevalo-Herrera, M., Chery, L., Ferreira, M. U., et al. (2015). Urban Malaria: Understanding its Epidemiology, Ecology, and Transmission Across Seven Diverse ICEMR Network Sites. *Am J Trop Med Hyg, 93*(3 Suppl), 110-123.

Wineman, A., Alia, D. Y., & Anderson, C. L. (2020). Definitions of "rural" and "urban" and understandings of economic transformation: Evidence from Tanzania. *J Rural Stud, 79*, 254-268.

Yang, D., He, Y., Wu, B., Deng, Y., Li, M., Yang, Q., et al. (2020). Drinking water and sanitation conditions are associated with the risk of malaria among children under five years old in sub-Saharan Africa: A logistic regression model analysis of national survey data. *J Adv Res, 21*, 1-13.

Yaro, J. B., Tiono, A. B., Sanou, A., Toe, H. K., Bradley, J., Ouedraogo, A., et al. (2021). Risk factors associated with house entry of malaria vectors in an area of Burkina Faso with high, persistent malaria transmission and high insecticide resistance. *Malar J, 20*(1), 397.

Yaya, S., Uthman, O. A., Okonofua, F., & Bishwajit, G. (2019). Decomposing the rural-urban gap in the factors of under-five mortality in sub-Saharan Africa? Evidence from 35 countries. *BMC Public Health, 19*(1), 616.

Zhou, G., Yewhalaw, D., Lo, E., Zhong, D., Wang, X., Degefa, T., et al. (2016). Analysis of asymptomatic and clinical malaria in urban and suburban settings of southwestern Ethiopia in the context of sustaining malaria control and approaching elimination. *Malar J, 15*, 250.

Zilversmit, M., Pattaradilokrat, S., & Su, X.-z. (2016). Comparative and functional genomics of malaria parasites. In D. Gaur, C. E. Chitnis & V. S. Chauhan (Eds.), *Advances in Malaria Research* (pp. 125-148). New Jersey: Wiley.

Abstract

Malaria Infection Among Children and Settlement Environments in sub-Saharan Africa

- Focusing on a scale measure of urbanicity for human settlement -

Huijoo Shon
Urban and Social Innovation
Department of Environmental Planning
The Graduate School
Seoul National University

This study aimed to assess the effects of urbanicity on malaria infection among children and malaria prevalence at community level in Africa, using a multi-dimensional measure of urbanicity. We used data from 2012 to 2019 Demographic and Health Survey (DHS), Malaria Atlas Map (MAP), and Global Human Settlement Layers (GHSL) from 20 sub-Saharan African countries.

The multi-dimensional urbanicity measure was developed including characteristics of the settlement environment and capturing

a continuum of urbanicity and rurality. Based on the urbanicity calculated at community level (DHS cluster), all communities were designated to one of the six settlement types: major urban, urban, urban slum, town, rural, or remote rural.

Statistical relationships between urbanicity and malaria risk have been explored through a two-stage analysis. First, multi-level logistic regression and meta-analysis were used to examine the associations between urbanicity and malaria infection at individual level. Second, spatial regression model and geographically weighted regression were used to determine the spatial effects of urbanicity on malaria prevalence at community level.

The findings show that there is an association between an increase in urbanicity and declining malaria infection risk. Especially, among the six settlement types, the malaria risk was high in urban slum and remote rural areas. However, the effect size of urbanicity lowering the probability of malaria infection was heterogeneous by macro-region and country.

Also, spatial regression model shows that the spillover effects of an increase in urbanicity is negative and statistically significant for the malaria prevalence. According to the analysis results, an increase in malaria prevalence in a community is significantly positive for an increase in malaria risks in neighboring communities.

The results of geographically weighted regression model show that the local effects of urbanicity on malaria prevalence are different by

regions. The effects of urbanicity are generally shown negative for malaria prevalence in most communities, but there are some communities that show non-significant effect or positive effect on malaria.

These results suggest the following implications for malaria programs. First, it is necessary to prioritize communities with low urbanicity when implementing malaria programs in Africa. In particular, policy makers should pay attention to urban slum and remote rural areas that show high risks of individual malaria infection. However, given that the effect size of urbanicity varies by macro-regions and countries, the wider geographical context of the communities should be considered before selecting the target.

Second, given that one community's urbanicity and malaria prevalence have spillover effects on neighboring communities' malaria prevalence, it is necessary to consider the neighboring areas. Moreover, since there are some urban regions that have no urbanicity effect or even opposite effect on malaria prevalence, it is still important to continue malaria programs for communities with high prevalence in urban areas.

An academic strength of this study is that it developed a multi-dimensional urbanicity measure and designated all communities in SSA to one of the six settlement types, rather than using urban-rural classification. Also, it examined the effects of urbanicity on malaria infection and prevalence, as well as the spatial gap in malaria problems

among different settlement types. In addition, this study has practical implications in that it suggests the necessity for malaria programs of deep consideration on the settlement environments.

Keywords: sub-Saharan Africa, malaria, settlement environment, urbanicity, health geography

Student Number: 2019-24292