

マカッサル市特別開発地域における
生態学的機能評価による開発計画の定量的評価

吉田眞子・三谷泰浩・池見洋明・ポーピーインドラヤニ・イベラヒムドジャマルディン

**A quantitative assessment of development plans
by evaluating ecological function for built-up area in the Makassar region**

**Mako YOSHIDA, Yasuhiro MITANI, Hiroaki IKEMI, Poppy INDRAYANI,
Ibrahim DJAMALUDDIN**

Abstract: With the development plans and infrastructure initiatives mostly around the urban centers in the Makassar region, the impacts of urbanization expansion and build-up areas would be on the environment and the natural resources aspects. Thus, environmental management and careful strategic spatial planning in landscape ecological network is crucial when aiming for sustainable development. This paper presents quantitative assessment of development plans by evaluating ecological function for build-up area in the Makassar region, as study case. Spatial analysis of Barrier Effect Index (BEI) and Ecological Connectivity Index (ECI) has been conducted to evaluate the ecological connectivity in the areas. Accordingly, spatial model results revealed that impacts of the connectivity distribution are being the artificial developed plans. It is clearly shows that the development plans gives higher level of the ecological connectivity in protected natural areas.

Keywords: 地理情報システム (Geographic Information System), 都市開発計画 (urban development planning), 生態連結指数 (ecological connectivity index)

1. はじめに

マカッサル市はインドネシアで5番目に経済発展が著しく、都市への人口集中、都市部での人為的な土地利用の拡大により急激な都市化が生じている。この結果、無秩序な市街化が進行し、農地や森林等の緑地が喪失しており、マカッサル市は2001年に地方自治が始まって以来、文化や都市緑地の中心として、図-1に示す地域の開発を提案している(Egis, 2013)。

現在、米国と欧州では経済・社会・環境の福利に資する幅広い役割がグリーンインフラ GI に期

待され、持続可能な街づくりの主要な手段として認識されつつある。GIは「自然のプロセスにもとづく多面的な機能・サービスを担う土地・水面およびそれらのネットワーク」と定義されている。本研究ではマカッサル市の開発地域を対象として、GIの概念を基に生態学的機能を評価し、開発計画の妥当性について検討した。都市開発の影響を定量的に評価するために、Marulli and Mallarach (2005)が提案した生態連結指数(ECI)を用いる。ECIは景観構造の質的特性を相対比較することで、生態系の連結性を空間的に示す指数である。生態系の連結性や緑のネットワークの構築は、エネルギーや情報、物質、動植物相の移動をより容易にするとされ、開発時の環境保全におい

吉田 眞子 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744

九州大学大学院 工学府 建設システム工学専攻

Phone: 092-802-3396

E-mail: yoshida@doc.kyushu-u.ac.jp

て1つの指標となる(Crooks and Sanjayan, 2002)。

2. 開発計画の内容

マカッサル市政府発行の2012年の1/50,000縮尺の地形図と開発計画資料(Egis, 2013)により、50mメッシュの土地利用図を図-2、図-3に示す。

図-3の黒い点線の範囲はラッカ島と呼ばれ、現在、養殖池や水田として利用されている。開発計画では都市緑地として湿地・マングローブを生きさせ、自然環境の維持や生態系保全を行う。

また、将来的に20万人以上の低所得層の人々に雇用を提供するために、都市部の面積を2012年の121.6haから262.1haに拡大し住宅開発を行う。河川周辺では定期的な洪水被害を受けているため、川沿いの堤防を建設し、汚染水緩和のため安定池を支流に設置する。堤防は、外環道路に繋がる連絡路も含んでおり、その他にも地域北部を横断し、マミナサタ広域都市圏の南部へ繋がる道路も建設もされる。洪水対策および交通手段の整備によるアクセス性向上は、地価向上をもたらし、経済効果を生むと期待されている。

3. 生態学的機能評価

3.1 生態学的機能領域

生態学的機能領域は自然保護区に限らず、エネルギー、水や物質の循環等の自然界の動きや動植物の種がその生息に必要とする環境として定義する。図-2、図-3の土地利用12項目中、2つの基準により森林、湿地、マングローブ、水田、果樹園の5つの生態学的機能領域を決定した。

第1の基準は自然領域として、多様な生物種の生息地や採取地となる森林、湿地、低木林、マングローブを、また対象地域には水田を初めとする長い農業の歴史があるため、農地生態系を考慮して水田、果樹園を指定した。第2の基準として、生態学的機能を発揮する領域の最低面積を10haとした。生物の中には幾つかの異なるタイプの生息場所を移動し、組み合わせて生育する種がある。都市における生物生息空間の連続性から、受け皿となる10ha以上の領域はビオトープ、緑の回廊

として最重要視されている(宮脇, 2001)。

結果的に、生態学的領域は開発計画により2012年の18%から、開発計画は37%と約2倍に拡大している。また、2012年では全自然領域の内79%だったのに対し、開発後は91%になるなど生物生息空間が増加した。



図-1 対象領域

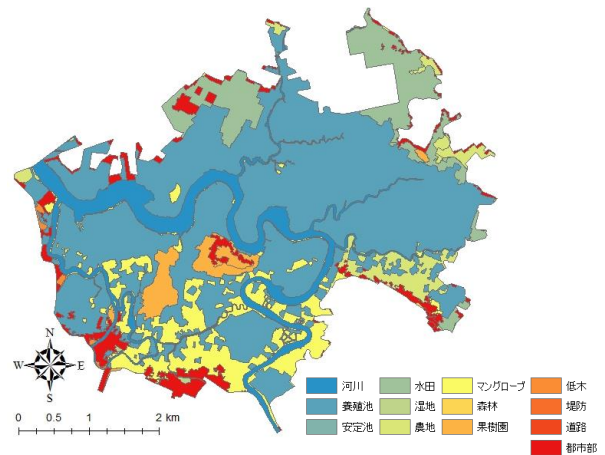


図-2 2012年の土地利用

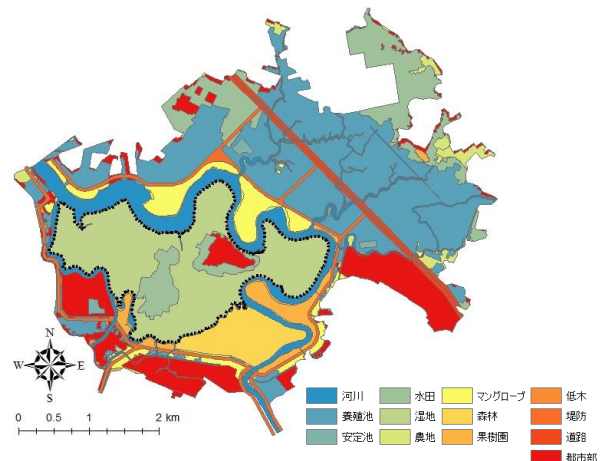


図-3 開発計画の土地利用

3.2 バリア効果指数(BEI)

エネルギーや情報、物質、動植物相の流れを妨げる人為的な土地利用を阻害要因とする。それらの阻害要因を評価するために、生態系への影響に応じて表-1 に示す重みを指定した。都市部は生息地の減少や周囲へ与える人為的インパクトを考慮し、最大の重みを与えた(Fahrig, 2003)。堤防・道路は帯状に広がり生息地の分断化の恐れがあるため、都市の次に大きくした。また、種の移動の阻害や種数の減少の可能性がある養殖池には中程度の重みを与えた。バリア効果指数(Barrier Effect Index, 以下 BEI)は、各阻害要因からの距離の対数関係、重みと表-2 に示すような潜在的な影響マトリクスに基づき GIS のコスト距離機能により計算される。このとき、 a_i はそれぞれの阻害要因が影響を及ぼすコスト距離の最大値、 A_i は各要因の潜在的な影響値を表す。コスト距離は、生態系が移動する際の最小労力として阻害要因ごとに算出される。バリア効果は対数関数で表され、式(1)に従って距離の増加とともに、減少すると仮定する(Marulli and Mallarach, 2005)。

$$Y = \sum_{s=1}^{s=n} Y_s = \sum_{s=1}^{s=n} [b_s - k_{s1} \ln(k_{s2}(b_s - d'_s) + 1)] \quad (1)$$

ここで、 b_s は各阻害要因の重み、 d'_s は各要因の最小コスト距離である。表 1 に各バリアタイプの重みおよび定数の値を示す。 k_{s1} 、 k_{s2} は 30% の対数的な減少を示すよう調整している。また、阻害要因が 3 項目あるため $n=3$ として、バリアごとに Y_s を算出し、合計したものが対象領域のバリア効果となる。生態系に対する人工的な阻害要因の影響を計算するために、BEI が式(2)のように定義される(Marulli and Mallarach, 2005)。

$$BEI = \frac{Y_i}{Y_{\max}} \quad (2)$$

ここで Y_i は、各メッシュのバリア効果、 Y_{\max} は対象領域におけるバリア効果の最大値である。バリア効果は常に様々な生態系の機能が影響し続けているため絶対的な範囲では測定できない。そ

のため相対な指標となり、対象領域を図-4 のように 0 から 10 の十進法で表す。

2012 年及び開発計画の BEI を計算し、図-4 に示す。結果として、2012 年の BEI の中程度以上を占める面積が 36%、開発計画では 70% となり都市開発の影響により BEI が増加した。特に、開発地域の西部や南部では都市部の拡大と道路の建設により、阻害要因が集中し BEI が非常に高くなった。2012 年と比較して開発計画の阻害要因の高いエリアは確実に広がっているが、都市公園として自然を保全するラッカ島では BEI が減少しており、無秩序な開発ではないと考えられる。

表-1 各バリアタイプの重み及び定数

バリアタイプ	重み (b_s)	ks_1	ks_2
都市部	$b_1= 100$	$k1_1=55.52$	$k1_2=0.051$
道路,堤防	$b_2= 80$	$k2_1=44.42$	$k2_2=0.063$
閉鎖性水域	$b_3= 60$	— ^a	— ^a

^a $s=3$ のとき空間的影響はない

表-2 各バリアタイプの影響マトリクス

タイプ	土地利用	a_i	A_i
中間地	耕地	$a_1=1000m$	$A_1=0.10$
農業	果樹園,水田	$a_2=750m$	$A_2=0.13$
自然	森林,湿地,低木林 マングローブ	$a_3=500m$	$A_3=0.20$
バリア	都市部,堤防・道路 閉鎖性水域	$a_4=250m$	$A_4=0.40$
コリドー	河川	$a_5=1m$	$A_5=100$
			$(A_n=b_5/a_n)$

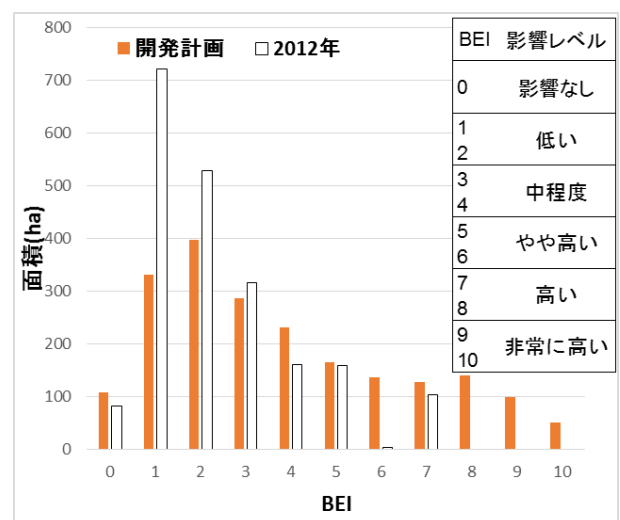


図-4 特別開発地域における BEI の分布

3.3 生態連結指数 (ECI)

生態系の連結性は景観の異なる要因間での、栄養塩や有機物などの物質やエネルギーの移動、また、個体・個体群における動植物種の移動を促進または阻害する度合いとして定義される (Taylor, 1993)。生態連結指数 (Ecological Connectivity Index, 以下 ECI) の解析手法として、GIS のコスト距離機能により、BEI をコスト値として設定し、生態学的機能領域の各項目までの最小コスト距離を算出する。それら全てを合計した x とし、式(3)により ECI を求める。(Marulli and Mallarach, 2005)

$$ECI = 10 - \frac{9 \ln(1 + (x_i - x_{\min}))}{\ln(1 + (x_{\max} - x_{\min}))^3} \quad (3)$$

ここで、 x_i は各メッシュの最小コスト距離、 x_{\min} 、 x_{\max} は対象領域内における最小コスト距離の最小値および最大値を示す。図-5、図-6 に 2012 年と開発計画における ECI を 5 段階に分けて示す。

結果的に、高い連結性をもつ領域が開発計画により 5% から 13% に拡大した。環境保全地区であるラッカシ島では ECI が集中して高くなっており、2012 年よりも強い生態系の連結性が期待できる。一方、都市部が拡大した西部や南部において ECI が著しく低くなっており、連結がないと考えられる領域が 41% 以上を占める。特に ECI が低い西部では連結性向上のためのビオトープや緑の回廊が必要になると考える。

4. おわりに

本研究はマカッサル市の特別開発地域を対象として、ECI を用いて生態学的機能を定量的に評価し、2012 年の土地利用状況と比較することで開発計画の妥当性について検討した。その結果、自然保護地区に設定された領域では生態系の連結性が 2012 年より高くなったこと、都市開発の影響が大きい領域が明らかになった。

参考文献

宮脇優 (2001), 都市公園緑地の生態学的評価指標に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, vol. 18.

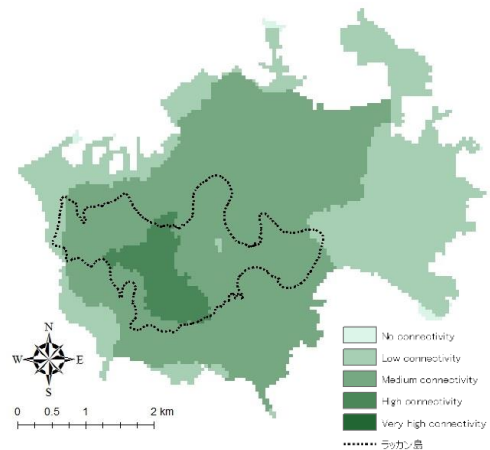


図-5 2012 年の生態連結指数 (ECI)

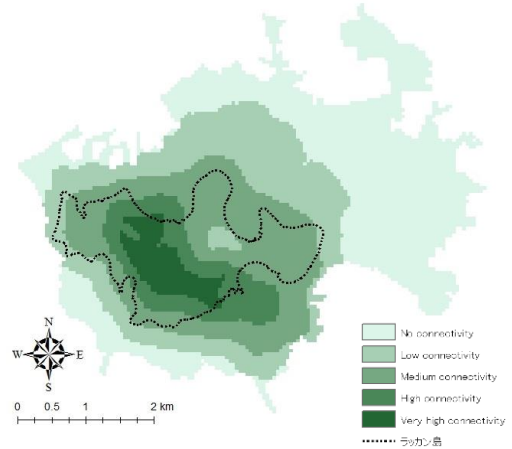


図-6 開発計画の生態連結指数 (ECI)

Crooks, K.R. & Sanjayan, M.A. (2002), *Connectivity and Conservation*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Egis (2013), *Makassar Tallo River Area Development Pre-feasibility Study Final Report*.

Fahrig, L. (2003), Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 34, pp.487-515.

Marulli, J. & Mallarach, J.M. (2005), A GIS methodology for assessing ecological connectivity, *Landscape Urban Plan*, vol. 71, pp. 243-262.

Taylor, P.D., Fahrig, L., Henein, K. and Merriam, G. (1993), Connectivity is a vital element of landscape structure, *Oikos* 68, pp571-573.