

지속가능한 유역관리를 위한 자연지역의 시공간적 특성 분석 - 일본 아라가와 유역을 대상으로 -

이 승 은 · 모리오카 토오루*
주)엔에스디컨설팅, 오사카대학 환경공학과
(2006년 1월 3일 접수; 2006년 4월 9일 채택)

Spatio-Temporal Analysis of Natural Area for Sustainable Watershed Management in the Ara River Basin, Japan

Seung-Eun Lee and Morioka Tohru*

NSD Consulting, Ltd. 2409, Woosungcharacter199, Seoul 135-856, Korea
*Department of Environmental Engineering, Osaka University, Osaka 565-0871, Japan
(Manuscript received 3 January, 2006; accepted 9 April, 2006)

As a frontier of Sustainable Basin Research Initiative, we commenced a scenario-driven planning and evaluation research project which is to identify the strategic policy scenarios. As a part of the project, this study attempts to estimate the ecological impacts of land cover changes using landscape indices at the whole basin level. We analyzed spatio-temporal characteristics of natural area including forest, agricultural land, water area, barren which play an important role in nature-friendly sustainable watershed management.

The results of analysis showed that the size and diversity of natural area have been reduced, while patch number and isolation have been increased in proportion to urbanization in 1974, 1995 and four future scenarios in the Ara River Basin. Also, we estimated that the natural area could be conserved to some degree in the SD or DE scenarios with a concept of environment-friendly development and lifestyle.

Various strategic environment policies may be evaluated and designed on the basis of the method, that is, scenario approach and landscape ecological analysis suggested in this study.

Key Words : Sustainable watershed management, Scenario, Natural area, Landscape index

1. 서 론

유역(watershed)은 물과 물질의 순환계 및 생태계의 공간으로서 도시를 지탱하는 기반구조이다¹⁾. 유역의 하류지역은 중상류의 산림, 농경지, 초원, 하천 등의 다양한 자연자원을 배후기반으로 그 서비스를 제공받으며 인간활동의 중심지인 도시로 성장해 왔다. 그러나, 시가지의 확대와 도시 중심의 대량생산·소비시스템 등은 수질악화, 폐기물 배출, 토사유출, 지하수 저하, 생물다양성 감소 등의 과도한 환경부하를 발생시켜, 유역을 형성하는 다양한 환경요소의 유기적 연계성을 파괴시키고 생태적 안정성과 지속가능성을 위협하고 있다.

이와같은 유역이 직면한 환경문제를 극복하고, 인간과 자연의 공생관계를 회복하기 위한 방안이 전세계적으로 모색되고 있다. 일본에서는 유역권의 자연환경 보전 및 복원에 대한 사회적 인식과 필요성이 높아짐에 따라, 2002년에 환경성, 후생성 등의 관계 6개 중앙부처가 협동하여 '자연공생형 유역권·도시재생'을 위한 기구를 출범시켰다. 그리고, 유역권의 건전한 물·물질 순환의 유기적 관계를 재생하여, 그 혜택을 인간이 최대한 누릴 수 있도록 자연 및 사회환경 기반을 재생하기 위한 '자연공생형 유역권·도시재생'에 관한 연구'를 시작하였다²⁾.

유역권의 지속가능한 관리 및 계획을 위해서는 우선 유역을 구성하는 다양한 경관의 구조와 변화 특성을 명확히 파악하는 것이 필요하다³⁾. 특히, 산림, 농경지, 수면 등과 같이 투수성을 갖는 자연지역(natural area)의 보전은 생물서식지의 보전 및 물·

Corresponding Author : Seung-Eun Lee, NSD Consulting, Ltd. 2409, Woosungcharacter199, Seoul 135-856, Korea
Phone: +82-2-6259-3161
E-mail: lse@ensd.co.kr

물질순환의 촉진 등에 있어 매우 중요한 요소이다. 또한, 유역생태계의 건전성을 나타내는 거시적 지표이기도 한 자연지역의 시공간적 특성은 다양한 경관생태지수를 활용하여 정량화될 수 있다.

본 연구는 “자연공생형 유역권·도시재생 연구”의 일환으로 아라가와 유역을 대상으로 1970년대, 1990년대, 그리고 2030년의 미래상(future image)에 관한 4가지 시나리오에 대하여 토지피복의 변화를 추정하고, 경관지수를 활용하여 자연지역의 공간적 특성을 분석하였다. 그리하여 유역의 도시화 정도에 따른 자연지역의 경관생태학적 변화 특성을 분석하는 한편, 시나리오 접근법을 활용하여 미래사회에 대한 전망하에 보다 효과적인 유역관리 정책을 수립하는데 필요한 기본체계를 구축하는 것을 목적으로 하였다.

2. 시나리오 접근법에 의한 유역 환경관리와 경관생태학적 분석

불확실한 미래사회에 대하여 그 특성을 어느정도 명확히 한 상태에서 정책도입 효과를 예측하기 위한 도구로서 시나리오 접근법이 주목되고 있다. 시나리오 접근법은 1980~1990년대부터 환경분야의 정책입안에 적용되어, IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)와 WWV(World Water Vision), WBCSD(World Business Council for Sustainable Development), MA(Millennium Assessment) 등의 연구에서 널리 이용되고 있다. 시나리오 접근법은 모

델링 방법에 의한 미래예측의 단점, 즉, 대상의 복잡성으로 인한 모델 구축의 어려움과 불확실성에 따른 정보부족 등을 해결하기 위한 방법으로 미래사회의 구조를 간소화하면서도 어느정도 타당성을 담보할 수 있다는 장점이 있다⁴⁾. 시나리오는 미래상의 기본 개념(concept)과 방향성을 나타내는 차원(dimension), 사회특성에 관한 상세한 기술(statement)을 포함하는 정성적 측면과, 이를 정량화시키는 부분으로 구성되어 있다. <Table 1>은 기존 시나리오의 사례로서, 주로 경제와 환경간의 관계 또는 이에 대한 가치관 및 라이프스타일, 지속가능성, 지역성 등을 기준으로 미래사회의 방향성을 구분하고 있다.

이와 같은 시나리오 접근법을 유역의 통합적 환경관리에 적용하는 방안이 유럽, 일본, 중국 등에서 모색되고 있다. 유역이란 본래 지표수의 배수계를 중심으로 한 지형학적 단위를 나타내는 것으로 주로 수질 및 수량의 관리 단위로 사용되었는데, 최근에는 자연생태계, 수질 및 물질순환 등의 환경관리를 위한 통합적 공간단위로 주목받고 있다. 또한, 유역은 다양한 물리적 환경으로 구성된 경관의 구조적·기능적 단위로서 유역의 보전은 지역 및 국가적 수준의 보전을 가능케 하며³⁾, 지형적으로도 경계(boundary)가 비교적 명확하여 관리 주체가 비교적 인식하기 용이한 공간이기도 하다⁴⁾.

유역의 환경자원으로부터 인간은 식료, 의약품, 연료 등의 다양한 서비스를 받으며, 활동영역을 확

Table 1. Dimensions of scenarios in the prior researches

Scale	Scenario		Dimension					
World-wide	WBCSD	FROG, GEO, policy, Jazz	Sustainability			Economy structure		
			Impossible	Possible	As usual	Change		
	WWV	BAU, TEC, VAL	Sustainability			primary factor of social change		
			Impossible	Possible	Technology	Lifestyle		
	IPCC	A1, A2, B1, B2	Regionality			Relation of economy and environment		
			Global	Regional	Priority to economy	Priority to environment		
Nation	Cycle-oriented society report	A, B, C	Main body of change			Economy structure		
			Consumer	Producer	As usual	Change		
	Foresight	A1, A2, B1, B2	Social value			Administration, Decision making system		
			Individual	Community	Independent	Interaction		
Regional, Local	Vision NW		Values			Constitution, Administration		
			Individual	Social	Top-down, Centralization	Bottom-up, Decentralization		
	City Region2020	BAU, TD, SD, DE	Economy growth		Environment policy		Social welfare	
			High	Low	Strong	Weak	Strong	Weak

source: F.Kato et al.⁴⁾

대시켜 왔다. 각종 요인으로 인한 자연환경의 파괴는 다양한 환경문제를 초래함은 물론, 인간의 삶의 질과 지속가능성을 악화시킬 것이다. 따라서, 자연환경의 시간에 따른 변화특성을 분석하고 모니터링하는 것은 매우 중요하다.

자연환경의 시공간적 특성은 다양한 경관지수에 의해 정량화될 수 있다. 경관지수는 경관생태계의 구조와 기능 그리고 변화양상 등을 상대적인 수치로 나타내는 것으로 이를 이용한 생태계 평가는 지역 개발계획의 수립시, 사전 평가자료로 제시될 수 있다⁶⁾. 다양한 경관지수를 활용하여 패치(patch)의 규모, 형태, 배치 등의 특성을 분석하여 공간계획의 기초를 제시하고자 하는 연구들이 진행되어 왔다. M.Fujihara(2004)³⁾는 상대우점도와 유사도지수(Similarity index) 등을 사용하여 유역의 약 80여년에 걸친 토지피복의 변화 특성을 하천의 상·중·하류별로 분석했다. 또한, L.Cifaldi(2004)⁷⁾는 다양한 경관지수를 사용하여 유역내 산림, 농경지, 습지, 도시지역의 경관 패턴을 정량화하였다. 국내에서는 토지이용 계획시 생태계 평가기법으로서 활용한 사례⁶⁾, 유역의 산림경관의 경관생태학적 특성 및 산림파편화의 정량화^{8,9)}, 농촌정주공간의 비오톱 유형 분류와 경관생태학적 특성 분석¹⁰⁾, 도시권의 경관구조 패턴 및 파편화의 정량화^{11,12)} 등의 연구사례가 있다.

3. 연구대상 및 방법

3.1. 대상지역

연구대상 지역인 아라가와(荒川) 유역은 사이타마현(埼玉縣)과 동경도(東京都)에 위치하고, 40개의 시(市), 20개의 구(區), 27개 정(町), 6개 촌(村)으로 구성되어 있다. 아라가와 유역의 토지피복 및 이용, 인구 등의 현황을 <Fig. 1>에 나타낸다. 유역의 총면적은 약 2,940km²(사이타마현; 2,440km²·동경도; 500km²)으로, 간선유로 길이는 약 173km인 1급 하천이다. 2000년 유역내 인구는 약 990만 명으로, 총생산액은 약 73조엔이며 그중에서 제 3차 산업이 약 60조엔, 제 2차 산업이 약 12조엔, 제 1차 산업이 약 700억엔으로 1인당 총생산액은 약 600만 엔/인이다.

토지이용의 경우, 도시적 토지이용이 약 30%, 자연적 토지이용이 약 70%(산림 44%, 농지 19%, 하천 5%, 황무지 2%, 내수면 0.4%)를 차지하며, 1인당 도시적 토지이용은 약 22m²이다. 상류에는 산림이 널리 분포하고, 중류에는 수전과 밭, 구릉지, 도시근교의 이차림이 분포하고 있으며, 하류에는 급속한 도시화로 각종 환경문제가 심각하게 대두되고 있다. 아라가와 유역에서도 유역권이 직면하고 있는 다양한 환경문제들이 나타나고 있어 이에 대응하기 위한 움직임이 활발하다¹³⁾.

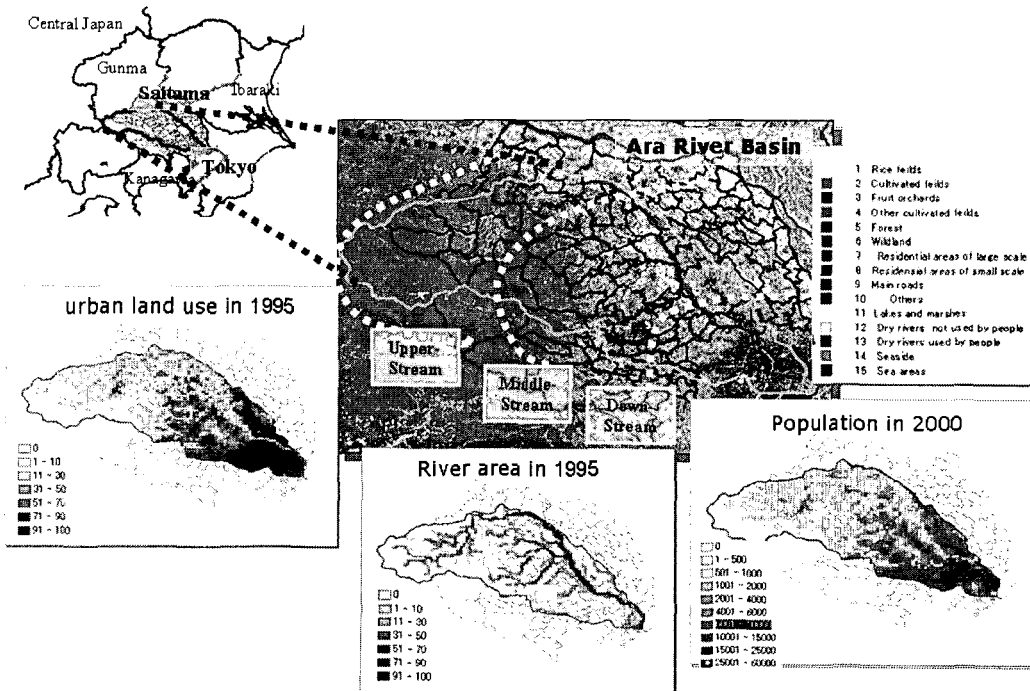


Fig. 1. Regional profile of study area, Ara River Basin.

3.2. 시나리오 및 경관지수

F.Kato et al.(2004)⁴⁾등은 아라가와 유역의 토지피복 변화, 인구 및 산업구조상의 변동 특성 등을 기초로 2030년의 사회상에 관한 4가지 시나리오를 작성하였다. 시나리오 구축 시스템은 개념(concept), 차원(dimension), 기술(statement)의 정성적 시스템과 사회특성을 나타내는 조작가능한 대표 변수(driving force)- 인구, 산업, 토지이용-에 의한 정량화 시스템으로 구성되어 있다. F.Kato et al.(2004)⁴⁾은 경제중시도, 기술혁신도, 지역자립도, 라이프스타일의 4가지 축에 의해 <Fig. 2>와 같이 유역의 장래상을 구분지었다. BAU(Business As Usual) 시나리오에서는 현재와 같은 경제중심 사회와 1극 집중구조가 지속적으로 연장되어, 지역자립성이나 환경적 가치관은 증가하지 않는다. TD(Technical Development) 시나리오에서는 고도의 기술 발전에 의해 도심과 지역간의 분리와 다핵적 구조가 형성된다. SD(Sustainable Development) 시나리오는 환경

과 경제를 동등하게 중시하고, 지역자립성도 증가하는 사회로 현재와 같은 1극 집중구조가 완화되는 사회를 나타낸다. DE(Deep Ecology) 시나리오에서는 환경보전이 경제성장보다 우선시되고 소비억제형의 환경배려행동이 활성화되며 지역의 자립성이 더욱 증시된다.

본 연구는 이상과 같은 시나리오를 토대로 아라가야 유역의 장래의 자연공간의 경관생태학적 특성의 변화를 예측하였다. 분석 데이터는 일본국토지리원(Japan Geographical Survey Institute)의 국토수치정보 토지이용데이터와 일본국립환경연구원(National Institute for Environment Studies)의 식생조사 데이터를 이용하였다. 또한, 경관분석용 소프트웨어인 FRAGSTATS Ver. 3.0을 사용하여 <Table 2>와 같은 패치의 구조와 배치를 정량화하는 지수들을 계산하였다. 이때 산림, 농경지, 수면, 나지와 같은 자연지역을 패치(patch)로, 도시지역을 매트릭스(matrix)로 간주하였으며, 분석은 경관(landscape)

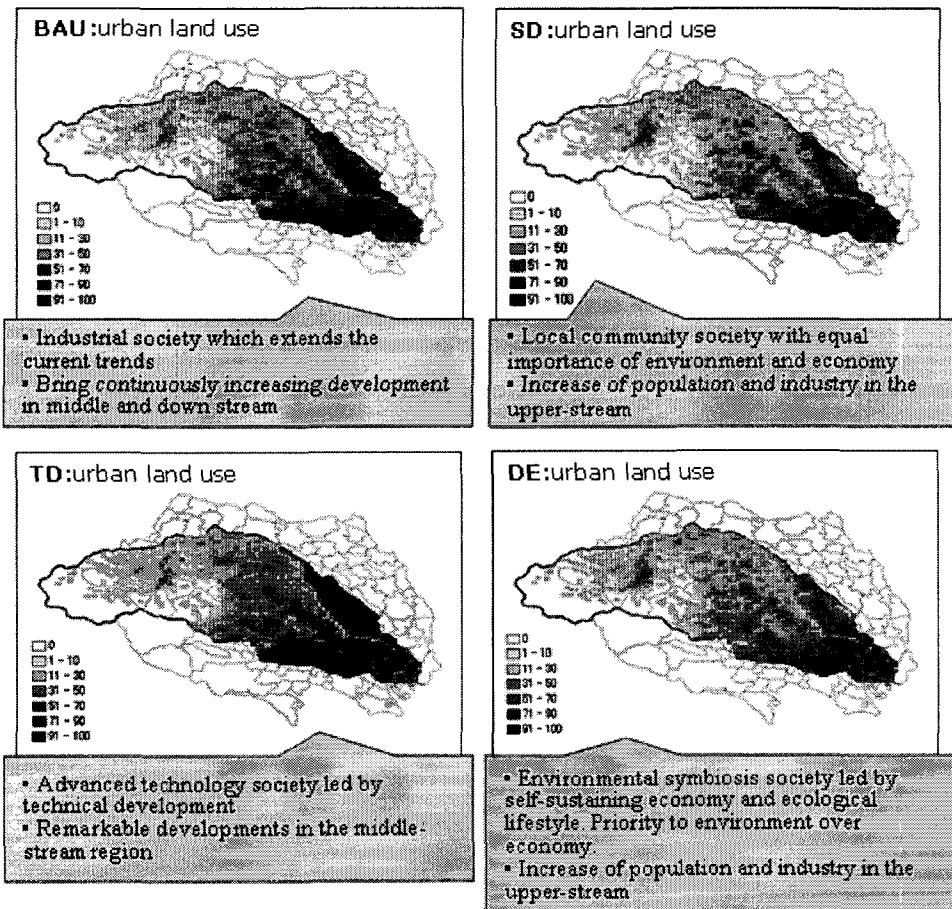


Fig. 2. Scenarios in the Ara River Basin.

Table 2. Landscape Indices used in this studies

Index	Description	Units	Range
PLAND (Percentage of Landscape)	Proportion of the landscape occupied by patch type (class)	Percent	$0 < \text{PLAND} \leq 100$
MPA (Mean Patch Area)	Mean patch area	Hectares	$\text{AREA} > 0$, without limit.
NP (Number of Patches)	Number of patches in the landscape of patch type (class)	None	$\text{NP} \geq 1$, without limit.
LSI (Landscape Shape Index)	Total length of edge in the landscape divided by the minimum total length of edge possible which is achieved when the landscape consists of a single patch.	None	$\text{LSI} = 1$, without limit.
GYRATE (Radius of Gyration)	Mean distance between each cell in the patch and the patch centroid.	Meters	$\text{GYRATE} \geq 0$, without limit.
ENN (Euclidean Nearest-Neighbor Distance)	Distance to nearest neighboring patch of the same type (class) based on patch edge-to-edge distance	Meters	$\text{ENN} > 0$, without limit.
PROX (Proximity Index)	Sum of patch area divided by the nearest edge-to-edge distance squared (m^2) between the patch and the focal patch of all patches of the corresponding patch type whose edges are within a specified distance of the focal patch.	None	$\text{PROX} \geq 0$.

및 패치유형(class) 수준에서 이루어졌다.

4. 분석결과 및 고찰

아라가와 유역에서의 1974년에서 1995년까지의 토지피복의 변화를 <Fig. 3>에 나타낸다. 약 20년 동안 산림과 농경지가 약 8,000ha 이상 감소한 반면, 도시, 골프장, 조성지와 같은 인위적 지역의 면적은 유역전체에 걸쳐 상당량 증가하여 1995년의 유역 전체 토지피복의 약 32%를 차지하였다. 특히, 동경만과 가까운 하류부를 중심으로 도시화가 빠르게 진행되어 밭 등의 농경지의 감소 및 도시지역의 증가가 두드러졌고, 중류지역에서는 구릉지를 중심으로 한 골프장 조성 등에 의해 이차림과 수변지역이 감소된 반면, 조성지는 증가하였다.

시나리오별로 보면(<Fig. 2>참조), BAU 시나리오에서는 기존의 경향대로 하류부를 중심으로 인구 집중과 도시화가 확산되는 반면, 상류에서는 인구가 감소된다. TD 시나리오에서는 기술발달에 따른 도시와 지역간의 분리경향에 따라 하류부의 인구집중과 도시개발이 BAU보다 더욱 가속화된다. SD 시나리오에서는 지역자립성의 증가 및 인구분산에 따라 중상류부의 일부에서 도시개발이 진행되고, 하류에서는 도시의 자연화가 진행되는데, 이러한 경향이 DE 시나리오에서 더욱 심화된다.

한편, 1974년, 1995년과 2030년의 시나리오별로 자연지역의 경관생태학적 특성을 분석한 결과를 보면, <Table 3>과 같다.

PLAND(Percentage of landscape, 경관비율)은

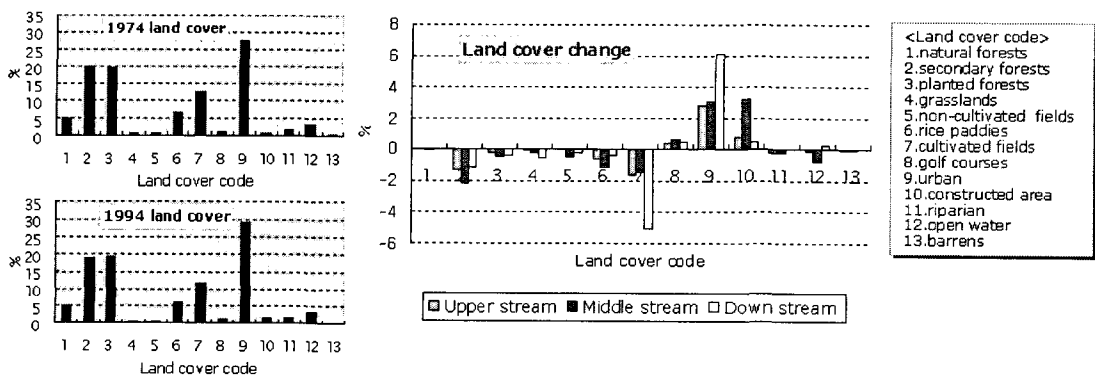


Fig. 3. Land cover changes between '74-'95.

Table 3. The analysis of Landscape indices in the Ara River Basin

	Level	Patch type	Size		Number NP	Shape LSI	Connectivity/Isolation		
			PLAND (%)	MPA (ha)			GYRATE (m)	ENN (m)	PROX
1974	class	Forest	47.01	8622.38	16	4.26	1670.35	1382.21	168.12
		Agricultural land	21.35	1899.21	33	9.53	1248.12	1238.52	351.04
		Water	4.01	841.64	14	6.39	1632.21	3733.07	176.36
		Barren	0.04	107.00	1	1.00	400.21	N/A	0.00
	Landsc-ape	Natural area	72.41	3320.66	64	4.07	1424.45	1829.36	261.61
1995	class	Forest	46.15	10418.92	13	4.26	1912.63	1635.08	202.97
		Agricultural land	18.72	1962.04	28	9.74	1298.19	1435.79	400.49
		Water	3.99	557.33	21	6.58	1147.76	3271.93	87.99
		Barren	0.21	156.75	4	2.49	599.46	24191.05	0.00
	Landsc-ape	Natural area	69.07	3071.42	66	3.74	1329.00	3438.38	237.88
BAU	class	Forest	46.15	9674.50	14	4.32	1806.61	1519.21	188.40
		Agricultural land	17.51	1713.03	30	9.57	1314.25	1292.26	83.67
		Water	4.01	560.38	21	6.55	1137.69	3271.93	88.99
		Barren	0.14	137.67	3	2.05	525.14	38196.36	0.00
	Landsc-ape	Natural area	67.81	2926.69	68	3.70	1326.28	3578.48	103.18
TD	class	Forest	45.90	9622.50	14	4.32	1834.92	1443.78	187.36
		Agricultural land	16.79	1449.15	34	9.71	1132.43	1252.89	60.08
		Water	3.94	550.57	21	6.49	1120.57	3271.93	87.98
		Barren	0.11	156.50	2	1.75	594.96	49206.20	0.00
	Landsc-ape	Natural area	66.73	2758.61	71	3.60	1252.30	3238.51	91.74
SD	class	Forest	46.22	9689.21	14	4.30	1812.93	1519.21	188.54
		Agricultural land	18.43	1745.29	31	9.80	1287.82	1391.68	355.18
		Water	3.99	557.33	21	6.58	1147.76	3271.93	87.99
		Barren	0.18	131.50	4	2.30	495.30	24483.23	0.00
	Landsc-ape	Natural area	68.82	2885.47	70	3.75	1305.54	3300.78	221.40
DE	class	Forest	46.15	10418.92	13	4.26	1912.63	1635.08	202.97
		Agricultural land	18.82	1972.96	28	9.75	1294.13	1435.79	402.29
		Water	3.99	557.33	21	6.58	1147.76	3271.93	87.99
		Barren	0.21	156.75	4	2.49	599.46	24191.05	0.00
	Landsc-ape	Natural area	69.17	3076.06	66	3.74	1327.28	3438.38	238.64

PLAND; Percentage of landscape, MPA; Mean Patch Area NP; Number of Patches
 LSI; Landscape Shape Index, GYRATE; Radius of gyration
 ENN; Euclidean Nearest-Neighbor Distance, PROX; Proximity Index

경관에서 특정 패치 유형이 차지하는 면적 비율을 나타낸다. 1995년에는 1970년대에 비하여 자연지역이 차지하는 비율이 약 10% 정도 감소하였고, BAU, TD, SD 시나리오에서는 각각 5.5%, 9%, 1.4% 정도 감소하고, DE 시나리오에서는 약 0.5% 정도 증가할

것으로 분석되었다.

MPA(Mean Patch Area, 평균패치크기)는 패치크기의 평균을 의미하여 전체 패치면적이 같다면 패치의 개수가 증가할수록 감소하게 된다⁶⁾. 패치의 면적 및 개수는 매우 중요한 생태학적 의미를 가진다.

예를 들어, 대부분의 종은 생존에 필요한 최소한의 면적(minimum area requirement)을 가지고, 조류의 종풍부도(species richness)는 패치의 면적과 강한 상관관계를 가지며, 패치의 수는 생물 개체군의 존속 및 상호관계에 중요한 영향을 미칠 수 있다¹⁴⁾. 아라가와 유역에서는 MPA가 1974년 이후 20여년 동안 약 7.5% 감소하였고, 시나리오별로는 BAU 4.7% 감소, TD 10.2% 감소, SD 6.1% 감소, DE 0.2% 증가할 것으로 분석되었다. 특히, 과거 20여년 동안, 산림 및 농경지가 차지하는 비율은 감소했지만, 평균패치크기는 증가하고, 패치개수는 감소하였다. 수면지역의 경우, 면적비율은 0.7% 정도 감소했으나, 패치 개수는 50%나 증가하고, 평균패치크기는 34% 정도 감소하였다. 이는 수면지역이 도시화로 인한 매립이나 건조화 등으로 작은 패치 조각으로 분절되어 패치의 평균 및 면적이 모두 감소하였기 때문인 것으로 생각된다.

LSI(Landscape Shape Index, 경관형태지수)는 패치 가장자리(edge)의 총길이를 가장자리의 최소 총길이, 즉, 경관이 하나의 패치로 구성되었을 때의 총길이를 나눈 값으로 패치형태의 복잡성을 정량화한 지수이다. LSI는 경관이 하나의 패치로만 구성되어 있는 경우 1이고, 패치 모양이 불규칙하고, 가장자리가 증가할수록, 즉 경관 다양성이 증가할수록 값이 커진다. 아라가와 유역에서는 1974년에서 1995년의 20여년 동안 LSI가 약 8.2% 정도 감소하였는데, 시나리오별로 보면, BAU에서 1.1% 감소, TD에서 3.7% 감소, SD에서 0.4% 증가하고, DE에서는 거의 변화가 없을 것으로 예측되었다.

GYRATE(Radius of gyration, 선회반경)은 패치의 확장성(patch extent), 즉 경관내에서 패치가 얼마나 광범위하게 분포하는가를 측정한다. 즉, 생물체가 패치내 임의의 점에서 출발하여 패치의 경계에 도달하기까지 패치내에서 이동할 수 있는 평균 거리값을 의미한다. 다른 조건이 같다면 패치 면적이 클수록 GYRATE도 크고, 면적이 같은 경우에는 패치가 광범위하게 퍼져 있을수록, 즉, 압축적이지 않고 길게 늘어나 있는 형태일수록 지수값이 커진다. 클래스(class)나 경관수준에서 집계된 GYRATE는 해당 경관내에서의 생물체의 평균적인 횡단가능성, 즉, 경관의 연결성(landscape connectivity)을 나타낸다¹⁴⁾. 아라가와 유역에서는 1995년에 자연지역의 GYRATE가 약 6.7% 감소하고, BAU, TD, SD, DE 시나리오별로 각각 0.2%, 5.8%, 1.8%, 0.1% 감소할 것으로 분석되었다.

한편, 많은 개체군 관련 모델은 서식지 패치의 고립도(isolation) 및 근접도(proximity)가 매우 중요한

요소임을 보여준다. 서식지가 소실되거나 분절될 경우 잔존 서식지 패치는 이동 장애, 먹이부족, 상호작용 결여 등의 문제로 개체군이 고립된다. 특히, 이동성이 제한되고, 서식지 요구사항이 엄격한 생물종이 가장 민감한 영향을 받게 된다. 이러한 패치간 고립성을 측정할 수 있는 가장 단순한 방법은 근접 패치간의 거리, 또는 일정한 생태적 거리내에 있는 서식지 패치의 누적 면적을 구하는 것이다.

ENN(Euclidean Nearest-Neighbor Distance, 근접거리)는 같은 유형의 패치간의 최단 직선 거리에 의해 패치간의 근접도를 측정하는 지수로서, 패치 고립도를 정량화하기 위해 가장 널리 사용되고 있는 방법이다. 아라가와 유역에서는 1974년과 1995년 간에 ENN이 약 88%나 증가하여, 자연지역의 고립도가 매우 많이 증가하였음을 알 수 있다. 또한, BAU 시나리오의 경우 4.1% 정도 증가한 반면, TD와 SD시나리오에서는 4~5% 정도 감소하였고, DE 시나리오에서는 거의 변화가 없었다.

PROX(Proximity Index, 근접도지수)는 해당 패치의 일정 반경내에 가장자리(edge)가 있는 패치의 면적 총합을 패치간의 최단거리(edge-to-edge distance)로 나눈 값을 의미한다. 따라서, 일정반경내의 동일 유형의 패치 면적이 클수록, 거리가 가까울수록 지수값이 증가한다. 본 연구에서는 각 패치별로 1km 반경내의 패치를 대상으로 근접도 지수를 산출하였다*. 아라가와 유역의 경우, 1995년에는 1974년과 비교하여 자연지역 패치간의 PROX가 9.1% 정도 감소하였다. 그 중에서 산림과 농경지는 각각 20.7%, 14.1%씩 증가한 반면, 수역의 경우 약 50%나 감소하여 수역패치의 고립도가 매우 증가하였음을 나타냈다. 시나리오의 경우, BAU, TD, SD에서 각각 56.6%, 61.4%, 6.9%씩 감소한 반면, DE에서는 0.3% 증가할 것으로 분석되었다.

이상을 종합하여, <Fig. 4>에 유역전체의 도시적 토지이용의 비율과 각 경관지수와와의 관계를 나타내었다. 그림을 보면, 아라가와 유역에서 도시지역이 증가할수록 자연지역 패치의 개수와 ENN은 증가하는 반면, 자연지역이 차지하는 면적비율과 MPA, LSI, GYRATE, PROX는 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 유역의 도시화가 진행될수록 자연지역의 면적과 경관 다양성 및 연결성은 감소하고, 패치가 작

* 생물의 이동능력에 따라 생태학적으로 의미있는 반경의 거리는 달라진다. 근접도 지수의 산출시에는 공간 계획이나 평가의 대상이 되는 지표생물의 생태학적 특성을 고려한 반경의 설정이 필요하다. 본 연구에서는 수변과 녹지가 풍부한 유역환경의 재생을 상징적으로 나타내는 잠자리의 평균 이동거리를 참고로 하여 1km로 설정하였다.

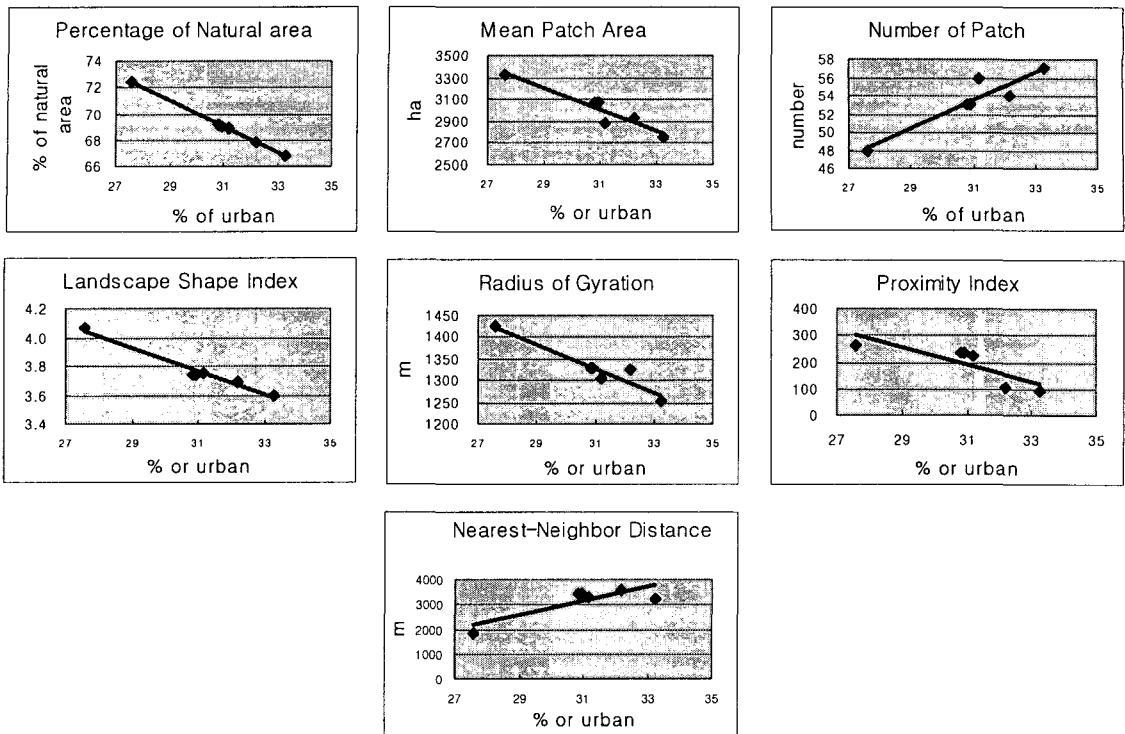


Fig. 4. Relationship between urban area and landscape indices in the Ara river basin.

은 크기로 분절되며, 고립도가 증가하여 유역전체의 생물다양성이 감소할 것으로 생각된다.

5. 결 론

본 연구에서는 일본 아라가와 유역을 사례지로 하여 유역전체의 거시적 수준에서 생태계의 건전성을 평가하고 합리적인 보전정책을 계획하기 위하여 자연지역의 유형별로 경관생태학적 특성의 변화를 분석하는 방법을 제시하였다. 분석결과, 아라가와 유역에서는 1974년과 1995년간에 산림과 농경지가 약 8,000ha 이상 감소한 반면, 도시, 골프장, 조성지와 같은 인위적 지역의 면적은 상당량 증가하여 1995년에 유역의 약 32%를 차지하였다. 전체 자연지역의 면적은 약 10% 정도 감소하고, 패치개수는 증가했으며, MPS(평균패치크기)는 약 7.5% 감소하였다. 또한, 도시화와 함께 LSI(경관형태지수)도 감소하였고, 패치의 연결성 및 고립성을 나타내는 GYRATE(확장성지수)와 PROX(근접도지수)는 감소하고, ENN(근접거리)은 증가하여 자연지역간의 공간적 고립도가 증가하였음을 나타냈다.

또한, 2030년 아라가와 유역에 대하여 설정된 네

가지 시나리오별로 자연지역의 공간적 특성을 분석한 결과, 자연지역의 전체면적 및 평균패치크기는 BAU, TD, SD 시나리오에서는 감소한 반면, DE에서는 약간 증가할 것으로 보였다. 또한, 경관의 다양성은 BAU와 TD에서 감소한 반면, SD와 DE 시나리오에서는 거의 변화가 없거나 약간 증가하였다. 한편, GYRATE, PROX, ENN의 경우, BAU와 TD 시나리오에서는 자연지역간의 연결성이 상당히 감소하는 반면, SD나 DE에서는 약간 증가하거나 거의 변화가 없을 것으로 분석되었다.

이상과 같이 유역의 도시화에 따라 자연지역의 면적은 감소하고, 패치의 개수는 증가하며, 경관의 다양성 및 패치간 연결성은 감소하는 경향이 있는 것으로 분석되었다. 또한, 경제뿐만 아니라 환경을 중시하는 가치관과 라이프스타일을 유지하는 SD 및 DE 시나리오와 같은 사회를 형성하는 경우, 유역을 지탱하는 자연지역은 거의 1990년대와 비슷한 수준으로 보전될 것으로 나타났다.

본 연구에서는 시나리오 접근법에 의하여 각기 다른 방향성을 가지는 사회를 상정한 후, 유역수준에서 자연지역의 경관생태학적 특성을 분석하였다. 또한, 향후 불확실성이 높은 장래 사회에 대응하면

서 유역의 도시화에 따른 자연재생 및 보전 계획, 지속가능한 관리를 위해 필요한 분석 및 계획 과정에 활용될 수 있는 체계를 제시하였다.

참 고 문 헌

- 1) Yoshikawa, K., 2002, On the Initiative of Watershed/Urban Regeneration in accord with nature, *Environmental Information Science*, 31(4), 36-42.
- 2) Morioka, T., 2003, Integrating systems approaches of policy intervention in promoting ecologically sound and nature-friendly sustainable river basin, *Proceedings of 31th Annual Meeting of Environmental Systems Research*, 31, 237-244.
- 3) Fujihara, M. and T. Kikuchi, 2005, Changes in the landscape structure of the Nagara River Basin, Central Japan, *Landscape and Urban Planning*, 70(3-4), 271-281.
- 4) Kato F., K. Tanji and T. Morioka, 2004, The Systematic survey about scenario approach and the system for the building future scenarios in basin area, *Environmental System Research*, 32, 391-402.
- 5) 依光良三編, 2001, 流域の環境保護 - 森川海と人々 -, 日本經濟評論社, 14-15.
- 6) 황국웅, 박소윤, 2003, 지속가능한 토지이용을 위한 경관규모 생태계평가기법 연구, *한국지리정보학회지*, 6(1), 78-84.
- 7) Rebecca, L., J. Cifaldi, D. Allan, J. D. Duh and D. G. Brown, 2004, Spatial patterns in land cover of exurbanizing watersheds in southeastern Michigan, *Landscape and Urban Planning*, 66(2), 107-123.
- 8) 정성관, 오정학, 박경훈, 2005, 경관지수를 활용한 낙동강 유역 산림경관의 시계열적 패턴 분석, *한국지리정보학회지*, 8(2), 145-156.
- 9) 박경훈, 정성관, 이현택, 오정학, 김경태, 2004, 금호강 유역 산림의 경관생태적 패턴분석, *한국지리정보학회지*, 7(3), 22-34.
- 10) 나정화, 차성운, 도후조, 이정민, 2005, 농촌 정주공간간의 경관생태학적 특성 분석 -내태1리와 검단1리의 사례지를 중심으로-, *한국환경복원녹화기술학회지*, 8(2), 1-20.
- 11) 최원영, 정성관, 박경훈, 오정학, 유주한, 김경태, 2005, 대구광역시광역도시권의 시공간적 경관구조 변화 패턴 분석, *한국지리정보학회지*, 8(2), 175-185.
- 12) 정성관, 오정학, 박경훈, 2003, 도시경관계획 수립을 위한 경관과편화에 관한 연구, *한국지리정보학회지*, 6(3), 11-20.
- 13) The homepage of Ara River Upper Reaches Works Office, <http://www.ktr.mlit.go.jp/arajo/>
- 14) FRAGSTATS Documentation, <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/>