

山形市における緑地の環境調節効果と ミティゲーションプラン

Environmental Regulation Effect of Green Space and Mitigation Plan in
Yamagata City

三浦 秀一
MIURA Shuichi

Green Space has been disappearing in small as well as large cities. This change is usually recognized in the visual aspect. But green space in urban areas not only has visual effects, but also many physical environmental regulation effects. Thus the development of a green space mitigation plan must consider how these environmental regulation effects can be preserved.

In this paper, the environmental regulation effects of green space in Yamagata city are evaluated in the aspects of thermal, air, and water environments in terms of the effect of temperature regulation, air purification, and flood regulation, respectively. Finally, the mitigation plan for development is examined.

1. 都市環境と自然

自然は人間社会にとってさまざまな役割を果たす、生存条件そのものであるが、その役割も歴史とともに変化してきた。自然は人間にとって長い間、食料資源としての役目を果たしてきており、現在もそれに変わりはない。そして、人間はその食料源である自然の中で暮らしてきた。また、人間はその居住地を得るためにその一部を切り崩さなければならない。低密度に居住していた時代には、このようなことは問題にならなかったし、問題にならないように居住した。しかし、都市化が進むにつれ、食料生産の場とその消費地である都市が分離され、特に居住密度の高い都市部においては自然をほぼ喪失しているといえる。

このように自然を喪失してしまった都市では、自然の持っていた土砂崩壊や洪水の防止機能も失うことになった。そのようなことから、自然が保有していた保安資源としての価値を評価し、計画的な保全が行われるようになる。やがて、自然の中での肉体労働から解放された都市生活者が、肉体的にも精神的にも健全な状態を保つために、レクリエーションの場として都市公園の整備が行われていく。

そして現在、より質の高い都市生活を営むために街並み景観を演出する重要な要素として、自然の重要性が認識される。近年、緑化協定や生け垣協定等結び、身近な緑を保全して潤いのある街並みを創出しているという例が増えつつある。樹木や植物とともに、水

辺もまた都市景観に潤いをもたらす。一度埋め立てられたり、蓋をかけられたり、コンクリート化された河川や水路を再び自然の姿に再生しながら再び美しい景観を呼び戻す努力も各地で行われている。

しかし、いつの時代にでも人間と調和のとれた自然は、景観としてもすばらしいものであったと考えられる。つまり、機能に裏付けられながら人間社会と調和した自然は景観として安らぎを与えるものになる。そのようなことから、都市と自然の関係をもう一度現代的に考え直しながら自然景観を見る必要がある。

近年大都市のみならず多くの地方中小都市においても緑を初めとする自然が失われつつあり、そのような変化を我々は視覚的な景観の劣下として日常的に感じる。しかし、緑地は都市において景観面のみならず図1に示したような様々な機能を持つ。二酸化炭素を吸収し、酸素を放出する以外にも、大気汚染物質を取り除く。道路脇の植栽は自動車騒音を緩和してくれる。コンクリートの建物に囲まれアスファルト化されコンクリートジャングルと呼ばれる街路においても、街路樹は涼しい緑陰を歩行者に与えてくれる。強風地帯の屋敷林のように風を緩和するのにも役立つ。降雨時においては、コンクリート面やアスファルト面ではその流出する割合が高く、都市型洪水が問題になるのに

比べて、緑地ではその流出量を軽減するとともに、時間変化をなだらかにする。また、緑地での雨水の浸透によって、土壌が保全され、動植物の良好な棲息環境が確保されることによって自然の生態系が維持される。このように、生態系維持、大気浄化、水源涵用、洪水防止、気温調節、防風防雪、騒音緩和など様々な物理的な機能を果たす貴重な環境調節資源であるといえる。そこで、このような緑地の合理性を客観的に検証しながら、その価値を認識して行かなければならない。そこで本報ではまず、山形市における緑の環境調節効果を熱環境、空気環境、水環境より評価することを試みている。そして、このような環境調節効果を持続させる開発としてミティゲーションプランの検討を行っている。

2. 山形市の緑地

山形市の総面積は38,158haで、そのうち市街化区域は3,773haであり、人口の70%が住んでいる。表1に山形市の緑地面積を示したが、市域全体で見れば自然の緑地が、都市計画区域内で見れば生産緑地が大きな割合を占めていることがわかる。このように山形市全体は6割が森林に囲まれる緑豊かな市であるが、身近な



図1 緑地の機能

緑地としては市街化区域の2割程度を占めるだけである。「緑のマスタープラン策定要項」のなかで、確保すべき緑地の目標水準は原則として市街化区域面積に対しておおむね30%以上、都市公園については住民一人当たりおおむね20m²を標準としているが、山形市の場合は両方の基準を満たしていない。現在の都市公園は霞城公園や薬師公園など歴史的遺産を利用したものが半分を占め新たな公園整備は小規模な児童公園が中心であり、公園整備は遅れている。また、今後の高齢化社会に向けても公園整備のあり方を考え直さなければならない時期にあるといえる。少ない都市公園を補っているのは田畑等の生産緑地である。しかし、図2に示したように田畑等の耕地は近年減少が進んでおり、最近30年では市全体で約3割の耕地が消滅している。地区別に耕地の面積率を図3に、減少率を図4に示した。

表1 山形市の緑地面積

	全市域		市街化区域	
	面積 (ha)	面積率 (%)	面積 (ha)	面積率 (%)
森林	21,445	56.2	94	2.5
田	5,099	13.4	278	7.4
畑	1,037	2.7	243	6.4
樹園地	1,190	3.1	49	1.3
公園	134	0.4	107	2.8
合計	28,905	75.8	771	20.4

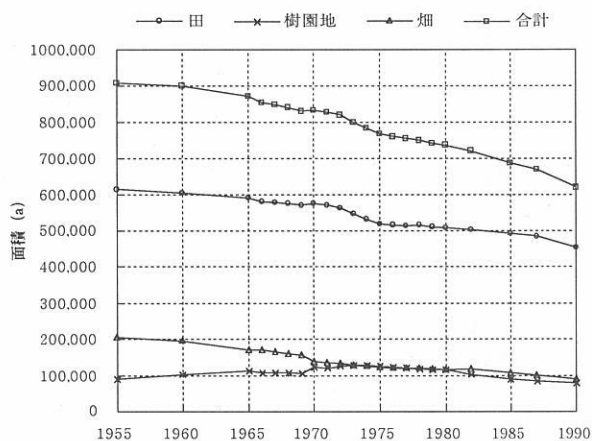


図2 山形市における耕地面積の経年変化 (山形市統計書より作成)²⁾

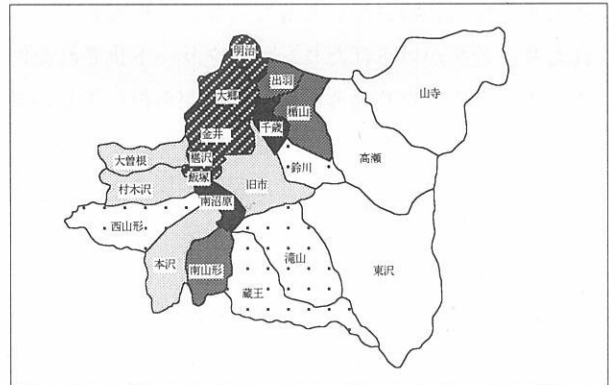


図3 耕地の地区別面積率 (1990年) 山形市統計書より作成²⁾

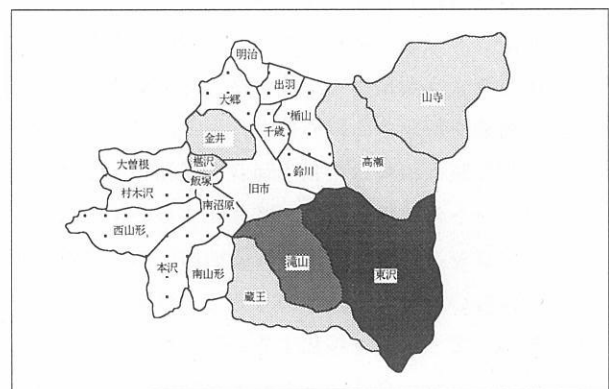


図4 耕地の地区別減少率 (1970年~1990年) 山形市統計書より作成²⁾

て、その南北に接する滝山地区や金井地区などの減少が著しい。このように永続的な緑地としては位置付けられないため、緑地全体として今後さらに減少して行くと考えられる。緑地分布を航空写真よりみると、宅地内の緑地についても究めて小規模なものが点在しているに過ぎないことがわかる。特に近年緑地であった空地进行をどんどん駐車場利用してしまったことが減少の大きな原因になっている。また、寺社境内は鎮守の森として古くからの大木をはじめとして良質な緑地が残されており、都市公園以外に公共的な利用ができる緑地としては貴重な空間となる。このような準公共的な緑地も含めて市街化区域における緑地面積を表1に示した。

このように、山形市の緑地景観は山々の森林緑地、田園の農地緑地、市街地内の公園や庭の緑地が遠景、中景、近景と段階的な景観を形成している。山形の特

徴はこの豊かな自然による遠景、中景にあるといえ、これらを良好に保全するとともに、市街地内の貧弱な緑を効果的に整備することが重要になる。

3. 山形市の河川

山形市内を流れる河川の主流は須川であるが、市街化区域内を流れる河川は北部に馬見ヶ崎川、南部に恥川、犬川、竜山川、坂巻川、鳴沢川があり、接するように須川、野呂川が流れている。このなかで河川数を持つものは馬見ヶ崎川と竜山川だけで、その他はほとんどの場所がコンクリートの三面張りになっている。竜山川周辺はまだ未整備の緑地が残っており、市街地内を流れる貴重な中小河川である。ほとんどの河川は扇状地にあたる市街地中心部の周りを流れており、市街地内部を流れる河川は少ない。安定した豊富な水量を持つのは、須川のみでその他は水量の少ない小河川である。市のシンボリックな河川である、馬見ヶ崎川も上水や農業用水として酷使されており、水量自体は少ない。特に市街地部分では表流水が全くなり、川底の露出した幅200m近い空間が伸びていることも多い。また、市街地内部では河川は少ないものの、多くの堰が網目状に流れている。このように、市街地を流れる河川は少なく、小規模なものがほとんどであり、堰は貴重な水景資源である。

4. 山形市における緑地水辺の熱環境実測調査

最近の都市環境の悪化のなかで、緑地や水辺の熱的効果が注目されているが、その熱的効果について、それが存在する場所において冷涼空間を形成するという段階とその効果が周囲に及びヒートアイランドを緩和する段階がある。山形市においても気温は年々上昇傾向にあるものの、東京を初めとする大都市ほど深刻なヒートアイランド現象には至っていないといえる。しかしながら、山形市は東北地方に位置しながらも夏の気温は高い地域であり、緑地は快適なオープンスペースを提供してくれる。その規模、質は様々であり、熱的効果もまた異なってくると思われる。緑地についても都市公園のような公共施設だけでなく、都市内に散在する神社、寺院の境内のような準公共的な施設にお

いても良質な緑地オープンスペースが存在しているといえる。また、河川についても大小様々なものがあるとともに、近年護岸整備が進みその構成も変化している。そこで、本報では山形市における各種緑地及び河川の熱環境調査を行い、都市内の快適なオープンスペースとしての比較を試みた。

(1) 調査概要

1) 調査対象

調査対象を山形市の市街化区域内とし、図5に示すように測定地点を選んだ。各測定地点とも市街地中心部から約3kmの範囲にある。各測定地点の概要を表2に示したが、種類は緑地として都市公園、寺社、水田、水辺として一級河川、堰、堀、池を選んだ。都市公園については総合公園、地区公園、近隣公園、児童公園

表2 測定地点の概要

	番号	場所	種類	規模
緑地	g1a	霞城公園(西)	総合公園	面積: 358,876 m ²
	g1b	霞城公園(東)	〃	面積: 358,876 m ²
	g2a	葉師公園(南)	地区公園	面積: 79,000 m ²
	g2b	葉師公園(北)	〃	面積: 79,000 m ²
	g3	松葉の木公園	近接公園	面積: 21,398 m ²
	g4	双葉公園	〃	面積: 10,946 m ²
	g5	第二公園	〃	面積: 7,714 m ²
	g6	もみじ公園	〃	面積: 6,391 m ²
	g7	小荷駄町公園	〃	面積: 6,700 m ²
	g8	千歳山公園	〃	面積: 15,806 m ²
	g9	かすみ公園	児童公園	面積: 1,000 m ²
	g10	小姓町公園	〃	面積: 2,285 m ²
	g11	鳥海月山両所宮	神社、寺	面積: 9,900 m ²
	g12	熊野神社	〃	面積: 4,200 m ²
	g13	専称寺	〃	面積: 14,400 m ²
	g14	歌懸稲荷神社(三の丸跡)	〃	面積: 3,500 m ²
	g15	諏訪神社	〃	面積: 4,500 m ²
	g16	宝光院	〃	面積: 7,000 m ²
	g17	六榎八幡	〃	面積: 10,000 m ²
	g18	光禅寺	〃	面積: 10,000 m ²
g19	白山神社	〃	面積: 800 m ²	
g20	白山	水田	面積: 180,000 m ²	
水辺	w1a	馬見ヶ崎川(上流)	一般河川	河川幅: 120 m
	w1b	馬見ヶ崎川(中流)	〃	河川幅: 190 m
	w1c	馬見ヶ崎川(下流)	〃	河川幅: 165 m
	w2	須川	〃	河川幅: 82 m
	w3a	竜山川(上流)	〃	河川幅: 16 m
	w3b	竜山川(中流)	〃	河川幅: 45 m
	w3c	竜山川(下流)	〃	河川幅: 50 m
	w4a	恥川・犬川(上流)	〃	河川幅: 4 m
	w4b	恥川・犬川(中流)	〃	河川幅: 7 m
	w4c	恥川・犬川(下流)	〃	河川幅: 22 m
	w5a	坂巻川(上流)	〃	河川幅: 1.5 m
	w5b	坂巻川(下流)	〃	河川幅: 15 m
	w6	八ヶ郷堰	堰	河川幅: 1.5 m
w7a	山形城堀(北)	堀	外周: 2,400 m、幅: 25 m	
w7b	山形城堀(西)	堀	外周: 2,400 m、幅: 25 m	
w7c	山形城堀(南)	堀	外周: 2,400 m、幅: 25 m	
w8	沼の辺	池	面積: 26,000 m ²	

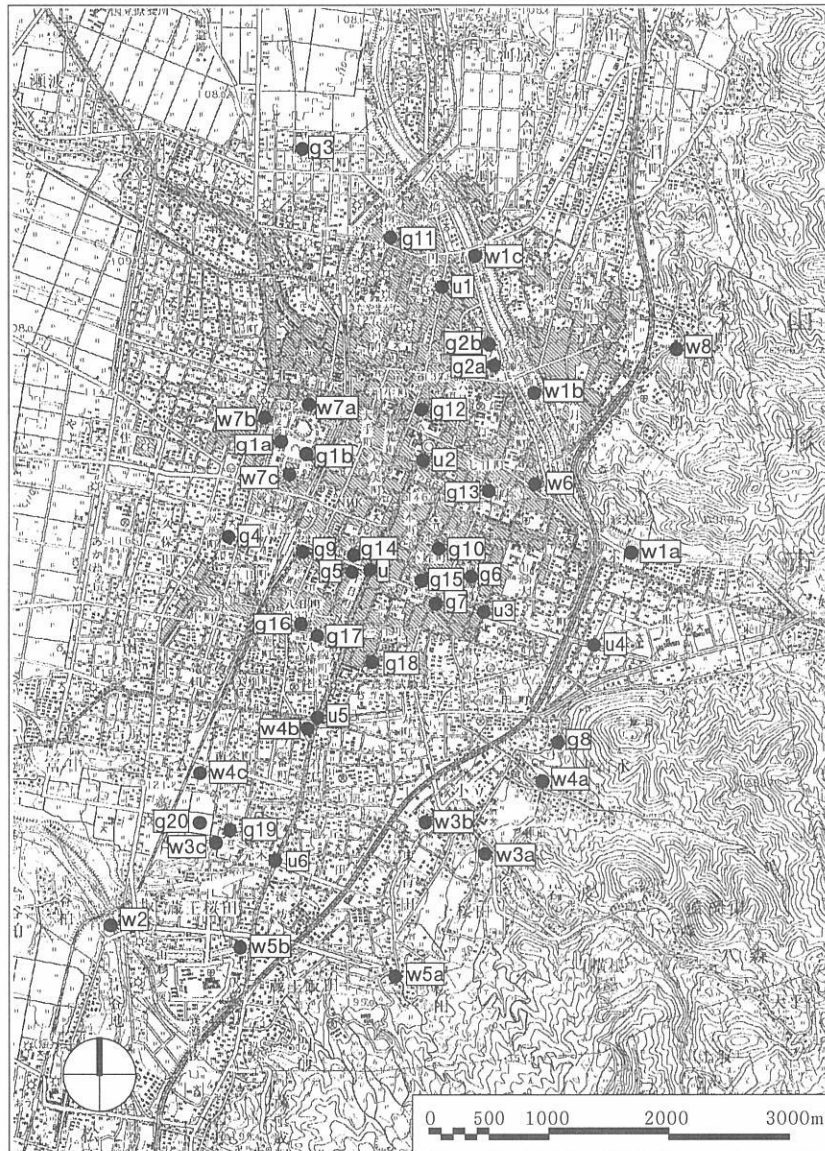


図5 測定地点の位置

から合計10箇所選んだ。このなかで、総合公園と地区公園については規模が大きいため、測定地点をそれぞれ2箇所設定した。寺社については9箇所、水田については1箇所測定地点を設定した。一級河川については5つの河川を選び、市街地周辺を流れるw2以外はそれぞれ3箇所設定した。また、比較のため街路として7箇所の測定地点(u, u1, u2, u3, u4, u5, u5)を設定した。

2) 調査方法

計測器は気温が白金抵抗センサー、相対湿度が高分子静電容量式センサー、風速が熱線式センサーを用い

表3 実測期間中の気象状況

	天気	平均 気温 (°C)	最高 気温 (°C)	平均 湿度 (%)	全日射量 (MJ/m ² 日)	風速 (m/s)	最多 風向
8/19	曇一時雨	22.9	27.6	80	12.00	1.0	N
8/23	曇時々晴れ	23.5	27.3	74	15.01	1.9	SSW
8/24	晴	25.0	32.0	74	20.59	1.2	N
8/25	晴	26.5	31.9	76	17.26	1.4	ESE
8/26	曇	24.6	28.7	78	11.05	1.7	ESE
8/29	晴	21.7	27.1	66	21.73	1.8	NNE
8/30	曇	20.7	23.6	74	10.06	1.2	NNE
8/31	晴後一時薄曇	22.3	28.4	69	20.46	1.1	NNW

ており、地上1.2mの高さで15分おきに測定を行った。部分的に放射温度計で表面温度も測定した。緑地では敷地中央付近に、河川地点では河川敷に計測器を設置した。河川敷のない地点では河川に沿った道路に設置した。測定は1993年8月の8日間行ったが、そのときの気象状況を表3に示す。異なる気象条件のもとでの測定により比較を行うために、全日程通して基準となる測定地点として、市街地の中心に位置する街路uをを設定した。また、この基準測定地点uを中心に他の測定地点は半径約3kmの範囲にあるが、この範囲の中での熱的分布の影響をどの程度受けるかを確認するために、地点u以外に6箇所の街路測定地点(u1~u6)を設け、同時に測定した。地点uにおける気温は7地点のなかでは中間的な気温を示しており、8:00~18:45までの平均地を比較しても、地点uに対して±1°C以内にある。

表4 実測結果のまとめ

	気温 (°C)		相対湿度 (%)		水蒸気圧 (mmHg)		風速 (m/s)		有効温度 (°C)		実測日
	平均	差	平均	差	平均	差	平均	差	平均	差	
街路 u	27.7	-	63.4	-	17.4	-	0.60	-	24.4	-	8月19日
	27.6	-	59.4	-	16.4	-	1.18	-	23.2	-	8月23日
	32.7	-	49.9	-	18.2	-	0.70	-	27.8	-	8月24日
	33.4	-	54.1	-	20.7	-	0.78	-	28.7	-	8月25日
	27.7	-	46.2	-	13.6	-	0.63	-	23.2	-	8月29日
	24.9	-	60.7	-	14.3	-	0.47	-	21.9	-	8月30日
	29.5	-	44.4	-	13.2	-	0.63	-	24.6	-	8月31日
公園 g1a	24.6	-3.1	78.1	14.8	18.1	0.7	0.28	-0.31	23.1	-1.3	8月19日
	24.8	-2.9	77.4	14.0	18.1	0.7	0.70	0.11	22.2	-2.2	8月19日
	24.5	-3.3	80.7	17.4	18.5	1.1	0.24	-0.36	23.3	-1.1	8月19日
	25.4	-2.3	75.4	12.0	18.3	0.9	0.24	-0.35	23.8	-0.6	8月19日
	26.0	-1.5	69.7	10.3	17.2	0.8	1.34	0.16	22.1	-1.1	8月23日
	26.2	-1.4	65.6	6.2	16.4	0.0	0.77	-0.42	22.8	-0.4	8月23日
	25.7	-1.9	69.3	9.8	17.1	0.8	0.32	-0.87	23.5	0.3	8月23日
	29.2	-4.2	71.4	17.3	21.6	0.9	0.82	0.05	26.0	-2.7	8月25日
	25.4	-2.1	68.3	8.9	16.6	0.2	0.50	-0.69	22.7	-0.5	8月23日
	29.6	-3.8	70.0	15.9	21.6	0.9	0.48	-0.29	26.8	-1.9	8月25日
	26.4	-1.2	66.1	6.7	17.0	0.7	0.45	-0.74	23.6	0.4	8月23日
社寺 g10	25.3	-2.3	68.3	8.9	16.5	0.1	0.80	-0.39	22.0	-1.2	8月23日
	28.6	-4.1	68.1	18.2	19.8	1.6	0.40	-0.30	25.9	-2.0	8月24日
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8月24日
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8月25日
	29.8	-3.5	67.8	13.7	21.3	0.5	0.46	-0.32	26.9	-1.8	8月25日
	28.6	-4.1	64.1	14.2	18.7	0.5	0.17	-0.52	26.1	-1.7	8月24日
	29.4	-3.3	62.4	12.2	19.0	0.8	0.54	-0.16	26.0	-1.8	8月24日
	28.9	-3.8	64.2	14.3	18.8	0.6	0.49	-0.20	25.7	-2.1	8月24日
	28.5	-4.2	66.5	16.6	19.3	1.0	0.21	-0.48	26.1	-1.7	8月24日
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8月31日
	水田 g20	26.4	-1.3	58.3	12.0	15.0	2.2	0.96	0.33	22.2	-0.9
26.2		-3.1	54.3	10.0	13.2	0.0	1.67	1.04	21.1	-3.5	8月31日
26.0		-3.6	54.9	10.5	13.4	0.2	1.93	1.30	20.6	-3.9	8月31日
26.5		-2.9	52.8	8.4	13.4	0.2	1.68	1.05	21.3	-3.3	8月31日
25.9		-3.6	58.8	14.4	14.3	1.1	1.21	0.58	21.4	-3.1	8月31日
25.6		-3.8	56.3	11.9	13.5	0.3	0.48	-0.15	22.3	-2.3	8月31日
27.2		-2.3	51.9	7.5	13.5	0.2	1.24	0.61	22.3	-2.2	8月31日
23.3		-1.6	70.7	10.0	15.1	0.8	0.75	0.28	20.3	-1.6	8月30日
24.9		-2.8	58.7	12.5	13.6	0.8	0.60	-0.03	21.5	-1.7	8月29日
28.2		0.5	45.2	-1.1	12.9	0.1	0.63	0.00	23.5	0.4	8月29日
27.2		-0.5	47.6	1.3	12.7	0.0	0.85	0.22	22.5	-0.7	8月29日
池 w1a	26.5	-1.2	50.1	3.9	12.0	0.0	0.64	0.01	22.4	-0.8	8月29日
	28.5	0.8	44.8	-1.4	13.0	0.2	0.52	-0.11	23.9	0.7	8月29日
	31.4	-2.0	60.4	6.3	20.7	0.0	1.62	0.85	26.9	-1.8	8月25日
	26.3	-1.4	72.1	8.8	18.3	0.9	0.17	-0.43	24.7	0.3	8月19日
	27.5	-0.3	64.8	1.5	17.5	0.1	0.49	-0.10	24.4	0.0	8月19日
	27.0	-0.7	70.2	6.9	18.5	1.1	0.45	-0.15	24.4	0.0	8月19日
	31.3	-2.1	64.7	10.6	21.9	1.2	0.54	-0.24	27.9	-0.8	8月25日

平均：8:00から18:45までの平均値

差：(各地点の平均値) - (街路uの平均値)

*：一部データ不足のため統計処理しなかったもの

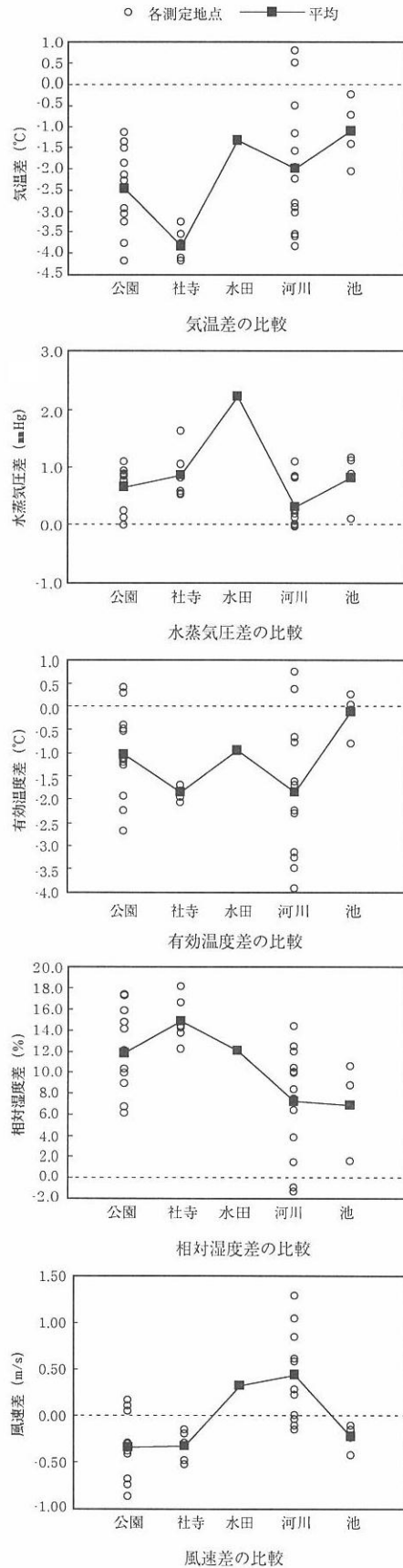


図6 実測結果の比較

(2) 調査結果

1) 気温の時刻変動

緑地である地点 g1 と g11 では 7:00 頃から地点 u との差が開き始め、最高で約 7°C の気温差が見られる。河川である地点 w1 では夜間でも 1°C から 2°C の気温差が見られ、日中では最高約 6°C の気温差が見られる。また、地点 w1a から w1c の 3 地点の間でも 1°C から 2°C の気温差が見られる。同じ水辺のなかでも河川ほど連続的な空間を持たない堀である地点 w7 では、地点 w1 ほどの気温差は見られない。緑地と河川を比較すると、緑地では 8 月 24 日の実測結果のように午前 8 時頃から街路との気温差が現われ初め、午後 5 時頃には温度差は小さくなっているのに対して、河川では 8 月 31 日の実測結果のように朝方街路との気温差が小さくなるものの夜間でも気温差が見られる。このように、河川沿いでは川風のみならず、その気温からも夕涼みをする適地になっているといえる。

2) 街路との差

測定時間中 8:00 から 18:45 までの気温、湿度、風速の平均値及び街路 u の平均値との差を表 4 に示した。また、図 6 には緑地種別の差を示した。公園では 1~5°C の気温差、5~20% の湿度差がある。社寺では 3°C~4°C の気温差、10~20% の湿度差がある。水田は 1°C 程度の気温差、10% 程度の湿度差がある。河川は街路 u よりも気温の高い地点から 4°C の気温差を示すものまで、街路 u よりも湿度の低い地点から 15% の

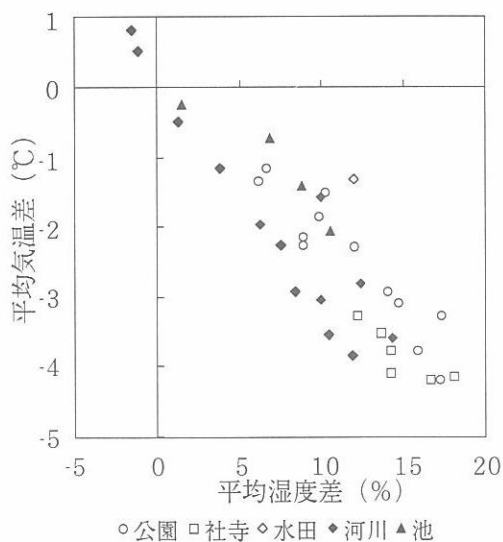


図7 平均湿度差と平均気温差

湿度差を示すものまでである。池では 0°C~2°C までの気温差、0~10% の湿度差がある。

平均湿度の差と平均気温の差の関係を示したのが図 7 である。河川は気温差、湿度差とも小さいものから、ともに高いものまで広く分布していることがわかる。緑地は河川ほど分布は広くない。河川の分布している直線に比べて、緑地の分布している直線は右寄りであり、同じ気温差でも湿度差が大きいといえる。これは、河川の水蒸気圧が緑地に比べて低いことを示しており、街路 u との水蒸気圧の差は、公園では 0.7~0.9 mmHg の地点が多く、社寺では 0.5~1.6 mmHg、水田では 2.2 mmHg、河川では 0~0.3 mmHg の地点が多く、池では 0~1.2 mmHg となっている。河川のなかでも水蒸気圧の高い地点 w2 は河川の水量が最も大きい河川である。

風速は公園、社寺、池が全般的に街路 u より弱く、河川が街路 u より強くなっている。河川水面の温度は 15~20°C であった。このようなことから、緑地においては蒸発散を主体とした作用によって、河川では低い水面温度からの対流と風の道が形成されることによって気温の低減がはかられていると考えられる。

熱的快適性は気温、湿度、風速、放射の 4 要素によって決まる。放射は今回計測していないことから、それ以外の 3 要素から表わされる有効温度を求め表 4 及び図 6 に示した。気温の結果に比べて河川における快適性の評価が高まっている。これは、河川の風速が強いことが影響を与えている。しかし、馬見ヶ崎川のような大きな河川や、小河川でも下流部においては河川敷の樹木は少なく今回計測しなかった放射の影響を受けやすい。そのため、有効温度で示されたような評価を現実を得るには、少なくとも直射日光を遮るような樹木などが必要になる。

(3) 気温差の予測

本調査では測定に 8 日間を要しており、各測定日の気象条件も異なることから、前述の様な気温差を単純に比較することはできない。そこで、街路 u の気温と各地点の気温との相関関係を調べ、そこで得られる回帰式より、同条件での気温差を求めることを検討する。

街路 u の気温と各地点の気温との相関関係を表 5 に示した。分析に用いたデータは 8:00 から 18:45 までのものである。相関係数 r はほとんどの地点で 0.7 以上

表5 街路uと各地点の気温相関

		回帰式	相関係数	気温予測値(°C)	気温差予測値(°C)
公園	g1a	tg1a = 10.87 + 0.50tu	r = 0.77	25.8	4.2
	g1b	tg1b = 11.10 + 0.49tu	r = 0.80	25.9	4.1
	g2a	tg2a = 11.45 + 0.47tu	r = 0.78	25.6	4.4
	g2b	tg2b = 8.96 + 0.60tu	r = 0.88	26.8	3.2
	g3	tg3 = 7.00 + 0.69tu	r = 0.62	27.6	2.4
	g4	tg4 = 9.14 + 0.62tu	r = 0.79	27.7	2.3
	g5	tg5 = 16.91 + 0.32tu	r = 0.73	26.5	3.5
	g6	tg6 = 11.88 + 0.52tu	r = 0.60	27.4	2.6
	g7	tg7 = 12.81 + 0.46tu	r = 0.75	26.5	3.5
	g8	tg8 = 4.18 + 0.76tu	r = 0.84	27.0	3.0
社寺	g9	tg9 = 11.86 + 0.53tu	r = 0.83	27.7	2.3
	g10	tg10 = 15.77 + 0.35tu	r = 0.71	26.1	3.9
	g11	tg11 = 2.54 + 0.80tu	r = 0.80	26.4	3.6
	g12	tg12 = 6.08 + 1.07tu	r = 0.97	25.9	4.1
	g13	tg13 = 10.32 + 0.54tu	r = 0.84	26.4	3.6
	g14	tg14 = 11.06 + 0.56tu	r = 0.61	27.9	2.1
	g15	tg15 = 5.87 + 0.69tu	r = 0.80	26.7	3.3
	g16	tg16 = 4.11 + 0.77tu	r = 0.89	27.3	2.7
	g17	tg17 = 9.08 + 0.61tu	r = 0.78	27.3	2.7
	g18	tg18 = 5.22 + 0.71tu	r = 0.78	26.6	3.4
水田 河川	g19	tg19 = 12.01 + 0.50tu	r = 0.88	27.0	3.0
	g20	tg20 = 5.09 + 0.77tu	r = 0.85	28.1	1.9
	w1a	tw1a = 5.91 + 0.69tu	r = 0.92	26.8	3.2
	w1b	tw1b = 9.66 + 0.55tu	r = 0.85	26.2	3.8
	w1c	tw1c = 7.45 + 0.65tu	r = 0.87	26.9	3.1
	w2	tw2 = 6.71 + 0.64tu	r = 0.83	26.0	4.0
	w3a	tw3a = 4.08 + 0.70tu	r = 0.87	25.2	4.8
	w3b	tw3b = 0.03 + 0.91tu	r = 0.91	27.3	2.7
	w3c	tw3c = 7.92 + 0.62tu	r = 0.72	26.5	3.5
	w4a	tw4a = 5.92 + 0.68tu	r = 0.81	26.5	3.5
池	w4b	tw4b = 5.74 + 0.81tu	r = 0.88	30.1	0.1
	w4c	tw4c = 4.42 + 0.82tu	r = 0.85	29.1	0.9
	w5a	tw5a = 1.51 + 1.01tu	r = 0.85	28.9	1.1
	w5b	tw5b = 8.04 + 0.74tu	r = 0.81	30.2	0.2
	w6	tw6 = 7.14 + 0.73tu	r = 0.81	28.9	1.1
	w7a	tw7a = 3.98 + 0.80tu	r = 0.93	28.1	1.9
	w7b	tw7b = 0.44 + 0.97tu	r = 0.95	29.7	0.3
	w7c	tw7c = 7.45 + 0.70tu	r = 0.92	28.6	1.4
w8	tw8 = 7.42 + 1.16tu	r = 0.80	27.4	2.6	

気温予測値 : 市街地中心部街路の気温 (tu) が 30°C の時、各場所で予測される気温
 気温差予測値 : 市街地中心部街路の気温 (tu) 30°C と、その時に各場所で予測される気温との差

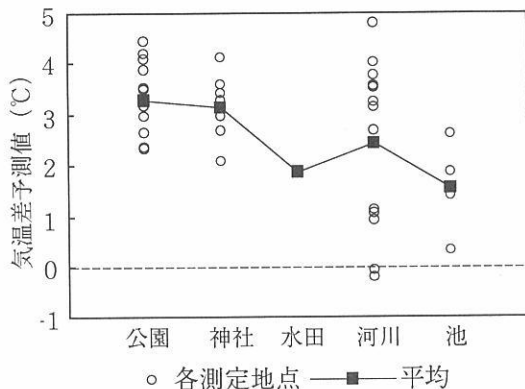


図8 気温差予測値

である。回帰式における街路 u の気温の係数もほとんどが 1 以下で 0.5 前後のものが多く見られ、街路 u の気温上昇に対して鈍化していることがわかる。

山形地方気象台による 8 月の日最高気温の平年値が 30.2°C であることから、ここで得られた回帰式より、街路 u の気温が 30°C の時の各地点の気温を予測した。また、緑地種別にその結果をまとめたのが図 8 である。緑地である公園、社寺では 2 ~ 5°C、河川では 0 ~ 5°C、池では 0 ~ 3°C の気温差が予測され、地域的な温度分布差を考慮しても気温低減効果があるものが多いといえる。また、社寺も公園と同程度の気温低減効果があるといえる。公園のなかでも大きな気温差が予測されるのは地点 g1、g2 のような大規模な公園である。水田はオープンな緑地ではないが、気温低減効果は低い。また、緑陰もないため冷涼空間は形成されない。水辺では河川が大きな気温差が予測されるものから、気温差の予測されないものまで幅広い。これは、河川の規模形状が大きく影響しているものと考えられる。河川 w4、w5、w6 は幅員 20m 以下の小河川であり、予測される気温差は小さい。また、下流部では上流部に比べて幅員が広がっているにもかかわらず、気温差があまり見られなくなる。特に地点 w4b、w5b では気温低減効果がみられない。コンクリートの三面張りになっており、河川敷がなく、冷気が周辺におよびにくい断面構造となっていることも原因と考えられる。それに対して、最も大きな気温差が予測された地点 w4b は、水面と樹木によって形成されるトンネル状の空間になっていることが、気温低減効果を高めた原因と考えられる。池で予測される気温差は小さい。また、市街地中心部を数多く流れる堰は非常に小規模な水辺であり、実測でも大きな気温低減効果は確認されなかった。しかし、このような小さな水路でもある程度の流量が確保されていれば水温は比較的低温、その表面温度から来る輻射の影響は多少なりともあると考えられ、

表6 緑地の環境調節効果評価方法

熱環境	気温調節効果： 夏期における公共的緑地の冷却熱量。
空気環境	大気浄化効果： 緑地が宅地化した場合に減少する NO _x 、SO _x 、CO ₂ の吸収量。
水環境	都市型洪水調節効果： 緑地が宅地化した場合に、必要となる洪水調節量。

それがまた心理的な冷涼感につながるといえる。さらに、街路樹との組み合わせによって効果は増すものと思われる。

5. 緑地の環境調節効果

(1) 評価方法

1) 評価項目

緑地の物理的な機能として水源涵養、土砂崩壊防止等、自然災害などに対する防止機能と、都市型洪水、大気汚染、ヒートアイランド現象等、人為的な都市活動に起因する問題に対する防止機能がある。ここでは特に都市と自然の関わりについて、都市活動が引き起こす様々な環境インパクトに対する緑地の緩和効果を検証する。対象とする緑地は近年特に減少が激しく、都市環境に直接影響のあると思われる市街化区域を範囲とした。緑地の環境調節効果を本報では、現状の緑地が宅地化したときの喪失される調節量として評価した。評価項目を表6に示すが、熱環境として気温調節効果、空気環境として大気浄化効果、水環境として洪水調節効果を評価した。

2) 気温調節効果

実測結果もとに緑地が持つ冷却能力を次式より算出した。

$$Q = C_p \gamma V H (T_r - T_g) / L$$

Q：緑地の冷却能力 (kcal/m²/h)

C_p：定圧比熱 (kcal/kg/°C)

γ：空気の比重 (kg/m³)

V：緑地内の風速 (m/h)

H：熱的影響の及ぶ高さ (m)

T_r：道路の気温 (°C)

T_g：緑地内部の気温 (°C)

L：緑地外周部から中心までの距離 (m)

Hを5mとして算定の結果、緑地の冷却能力は約1,400kcal/m²/日と算出された。この値をもとに、年間60日間の効果を受けることができるとして気温調節効果を算出した。ここでは気温調節効果の評価は特に公共的な利用が可能な緑地である、都市公園と寺社を対象とした。

3) 大気浄化効果

大気浄化効果は現状の緑地による汚染物質吸収量と

その緑地が宅地化した場合の汚染物質吸収量の差として評価した。汚染物質吸収量の算定方法としては、小川和雄が整理した緑地種別の乾物総生産量と汚染物質濃度より求められる簡易モデル⁴⁾を用いた。簡易モデルを次式に示す。

$$U = A \times P \times C \times K$$

U：緑地種別汚染物質吸収量 (t/年)

A：緑地種別面積 (ha)

P：緑地種別乾物総生産量係数 (t/ha/年)

C：汚染物質濃度 (μg/cm³)

K：汚染物質による定数

汚染物質の対象としてはCO₂、NO₂、SO₂を扱った。CO₂に関しては、地球環境レベルでの問題であるが、NO₂、SO₂については、近年の自動車交通への依存と盆地という地理的条件からさし迫った問題である。また、緑地による汚染物質の吸収は発生源に近く、拡散される前に吸収することが効果的なことから、市街化区域内の緑地を中心に検討を行うことが妥当と考えられる。緑地種別の乾物総生産量係数は都市公園、寺社が*11t/ha/年、水田が*18t/ha/年、山林が*40t/ha/年、原野が*10t/ha/年、畑、樹園が*20t/ha/年、宅地が*1.6t/ha/年である。また、山形市のSO₂年平均値は0.008ppm、NO₂年平均値は0.015ppmである³⁾。

4) 都市型洪水調節効果

洪水調節効果は現状の緑地面積に対して、宅地化した場合には洪水調節池機能が失われるとして評価した。水田の雨水貯留機能は志村⁵⁾の試算方法にもとづき、畦畔の高さを30cm、常時湛水高を3cmとして試算した。畑については粗間隙率を平均20%、有効土層厚を30cm、森林については、粗間隙率を17.6%、有効土層を1m、原野については、粗間隙率を平均10%、有効土

表7 緑地の環境調節効果

	冷却熱量 (Gcal/年)	CO ₂ 吸収量 (kg/年)	NO ₂ 吸収量 (kg/年)	SO ₂ 吸収量 (kg/年)	洪水調節量 (m ³)
都市公園	96,300	837,168	480	476	5,350
寺社	31,495	273,797	157	156	1,750
水田	—	4,620,698	2,176	2,157	736,488
畑	—	4,439,494	2,136	2,117	133,749
果樹園	—	729,345	427	423	26,750
山林原野	—	1,281,734	1,048	1,038	160,395
緑地合計	127,795	12,182,237	6,425	6,367	1,064,481

層厚を10cmとする。また、宅地については建ぺい率50%で空地は粗間隙率を平均10%とし、有効土層厚を10cmとする。

(2) 評価結果

以上の様な方法によって算定した緑地の環境調節効果を表7に示す。大気浄化効果としてはCO₂吸収量が年間約12,821t、NO₂吸収量が年間約6t、SO₂吸収量が年間3tとなる。CO₂排出量を2t/人/年として試算すると、山形市の人口25万人ではCO₂排出量が50万t/年となる。自動車からのNO₂排出量を20g/人/年、SO₂排出量を12g/人/年として試算すると、山形市の人口25万人ではNO₂排出量が5t/年、SO₂排出量が3t/年となり、自動車からの排出量の大部分を吸収していることになる。洪水調節効果は100万m³の貯留施設に相当することになる。これは、山形市内に唯一設置されている馬見ヶ崎川上流の蔵王ダムの洪水調節貯水量210万m³のおよそ半分に対応する。ダムの建設費から換算するとおよそ4億円に相当する。これらの環境調節効果を緑地種別に見ると田畑が大きな効果を示している。単位面積当たりの能力という意味では農地は環境調節機能はその他の緑地に比べて小さいものの、面積が大きいいため総量としては非常に大きな効果を有しているといえる。気温調節効果は128Tcal/年となる。一世帯当たりの冷房用エネルギーを200Mcal/世帯/年とすると、山形市全体では16Tcal/年となり、緑地のもつ気温調節効果が大きいことがわかる。このように、緑地は都市活動が引き起こす影響を低減し、環境負荷の小さいまちづくりに大きな貢献をする。

6. 農地開発のミティゲーションプラン

(1) ミティゲーション

山形市内の市街化区域内には農地が以前として15%程度存在し、緑地の大部分を占めている。これらの農地が前述のようにきわめて大きな環境調節機能を有している。しかし、この緑地は永続的なものではなく、開発の対象になりやすい用地であるといえる。いわゆる持続可能な開発を行うためには、農地を宅地化する際にも、これらの環境資源を損なうことなく、マイナスのない開発を進める必要がある。このような開発と

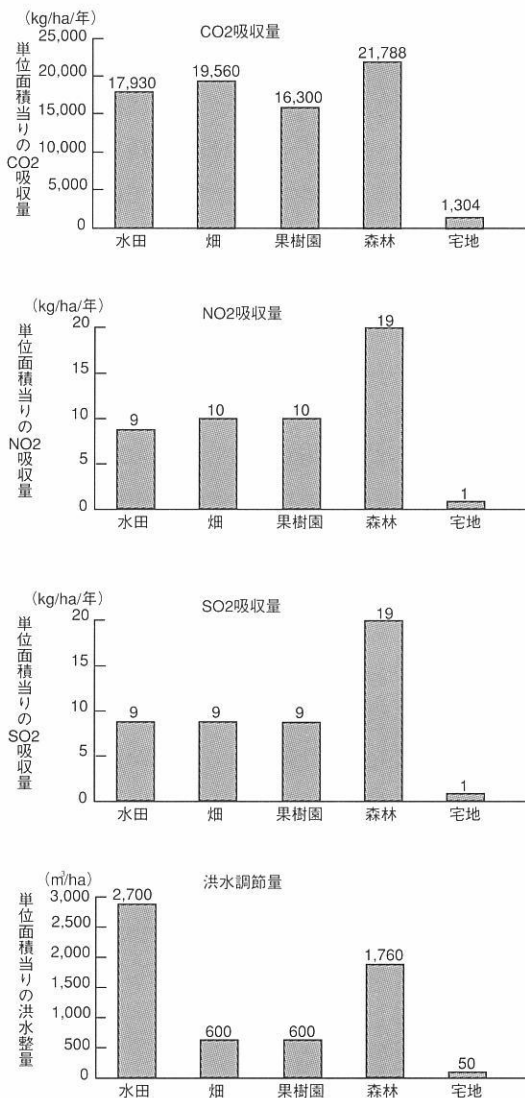


図9 単位面積当りの環境調節効果

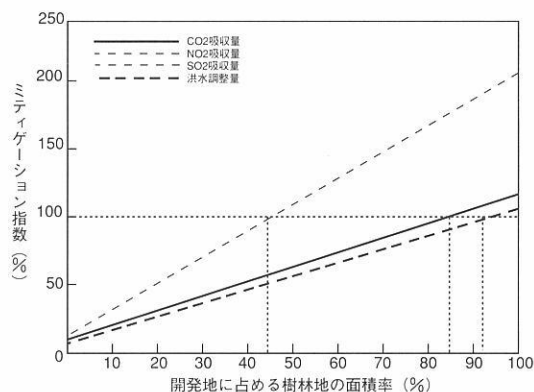


図10 開発地の樹林地面積率とミティゲーション指数

保全の両立を目指す手法としてミティゲーション（代償措置）の導入が必要となる。ミティゲーションとは、開発で失われる自然を代替用地に新たに補填する等、補いながら環境へのマイナス影響を相殺して行く手法であるが、清水市ではすでに条例化している⁸⁾。

農地開発の場合、農地そのものの生産機能を保全するために代替用地を他の場所に求めるのは、様々な観点より必ずしも現在求められていることではない。特に市街地内の農地ではこれらが市民生活に果たしてきた環境的な価値を保全すべきであると考えられる。そのような意味では、前述したような環境調節機能を担保しながら、自然とのふれあいの場、景観を確保して行く必要がある。そのために、農地から市民生活に即したものに質的な転換を図りながらミティゲーションを考えることが有効となる。また、市街地に不足する都市林は環境調節機能としても、市民の自然とのふれあいの場としても、農地より質的に高いものを計画することが可能である。このようなことから、ここでは市街化区域内の農地を宅地開発する場合におけるミティゲーションプランとして、都市林へ代償する方法を検討する。この手法を導入することによって、宅地開発を行う際に従前の環境調節機能が担保されるだけでなく、より質の高い緑地整備を整備して行くことが可能となる。

(2) 検討方法

ここでは、市街化区域内の農地の環境調節効果を評価し、宅地開発の代償措置として同じ開発用地内の一部に樹林地を新たに設けることとした。環境調節機能については前節の考え方にしたがって検討を行った。ただし、農地の気温調節効果については、今回の調査から農地そのものは冷涼空間としては効果の低い空間であることが明らかになったこと、また、その周辺へ及ぼす効果は明らかにできなかったことから検討項目から除き、大気浄化効果と洪水調節効果について検討を行った。

(3) 検討結果

最初に、農地と樹林地について単位面積当たりの環境調節効果を比較したものが図9である。CO₂吸収量については、宅地以外は大きな差はないものの、森林

が農地に比べて大きい。NO₂吸収量、SO₂吸収量については、森林が他の2倍近くある。洪水調整量については水田が最も高いものの、畑、果樹園よりは森林のほうが高い。

次に、山形市の市街化区域内の農地全体に対して、どのようなミティゲーションプランにもとづいた開発を行えばよいかを検討した。そのために、ここでは次式によって求められる値をミティゲーション指数と定義して検討を行った。つまり、ミティゲーション指数100の時には従前の環境調節機能が代償されたことを意味し、100を下回る時には環境調節機能が完全に代償されず劣化していることを意味し、100を上回るときはその反対になる。

$$Mi = Eia / Eib \times 100$$

Mi：項目iのミティゲーション指数（%）

Eia：開発後の農地全体が保有する項目iの環境調節効果

Eib：開発前の用地全体が保有する項目iの環境調節効果

用地全体に対する樹林地面積の割合とミティゲーション指数の関係を示したのが、図10である。NO₂、SO₂については約45%を樹林地に当てればミティゲーション指数が100に達するものの、CO₂や洪水調節効果については90%前後を樹林地に当てなければミティゲーション指数100を確保できない。CO₂はそれ自体が直接人体に悪影響を与えるものではないので、このための代償措置は開発用地以外で検討しても有効となる。また、洪水調節効果については現在取られている対策のように調節池を設ける等、別途対策を検討することも可能である。しかし、NO₂、SO₂については直接人体に悪影響を与えるものであり、その発生源対策も容易ではないことから、局力ここで得られた数値を目標にすべきであると考えられる。

7. まとめ

山形市は山林や田園に囲まれた緑豊かな市である。そして、これらの緑は人々の生活に恵みを与え続け、都市生活を営むものにとっても心安らぐ遠景となっている。これまで、このような自然に対して大きな危機感を抱いてこなかったが、すでに市街地内の緑地は貧

弱であり、ますます減少傾向にある。日常的な生活の場に潤いをもたらすにはこのような身近な緑の整備をより一層進めなければならない。そのためには、都市公園による整備だけでは限界があり、民地も含めた整備が必要となる。特に、鎮守の森に代表される寺社の境内は良質の緑地であるにもかかわらず近年その荒廃が進んでいる。現在はその宗教性より自治体が直接保護することは困難な状況になっているが、今後は貴重な文化財であるとともに、貴重な環境資源として保護対策を進める必要がある。また、市街地を取り囲む田園についても近年農業の衰退、宅地開発のために急速に失われつつある。しかし、これらの農地を単に開発対象とするだけでなく、より良質な環境機能を持つ都市林としての用途転換を図りながらも良好な緑地帯の確保に努めなければならない。

このように地方都市においても失われつつある都市内の緑地は街なみに潤いを与え、心の安らぎとなるだけでなく、環境を調節する貴重な役割をはたしている。特にここでは、山形市の市街化区域における緑地の気温調節効果、大気浄化効果、洪水調節効果について評価を行った。気温調節効果については熱環境実測を行い、その結果多くの場所で気温低減効果が確認された。このような緑地空間は熱環境的にも快適なオープンスペースである。空間大気浄化効果、洪水調節効果についても非常に大きな効果が確認され、環境負荷の小さいまちづくりに大きな貢献をする。

これまで建築技術は建築内部環境の向上に邁進してきたが、このことは人々の生活を建築内部に引き込み、建築の外部環境つまり都市環境への関心を減じていたともいえる。このように緑地を都市の内部にも取り込み、屋外空間を快適にすることによって都市景観に対する関心を呼び戻すことにもつながると考えられる。

身近な自然は日常の生活に安らぎの場を与え、その周りの田園は都市を健全な状態に保全し、山々は生活のための基本条件を与えてくれる。このように、近景、中景、遠景とそれぞれ異なる自然もすべて、快適な生活の条件である。そして、このような自然景観を保全することによって、生活そのものの快適性が確保されることにつながる。今後、このような都市緑地を総合的な見地より計画的に保全して行かなければならない。

謝辞

本研究を行うにあたり山形市のご協力を頂いた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 山形市：山形市環境計画、1993年
- 2) 山形市統計書
- 3) 山形市：山形市の環境、1992年
- 4) 小川和雄：埼玉県内緑地による大気浄化量の推定、水、1994年4月
- 5) 吉野正敏編：地球環境への提言、山海堂、1994年
- 6) 山形県土木部、山形広域都市計画各市町：緑のマスタープラン調査報告書、1982年
- 7) 山形市：山形市都市環境基礎調査報告書、1986年
- 8) 清水市：清水市興津川の保全に関する条例、平成5年3月29日この条例は、清水市、事業者及び市民が一体となって興津川の良好な水質、適正な水量及び興津川流域の優れた自然景観を保全するために設けられたものである。このなかで、1000m²以上の森林の転用を伴う事業については、興津川の保全に関する協定を市長と結ばなければならないとしている。これに関わる具体的な指針については、清水市北部山間地域環境管理計画⁹⁾に示されている。
- 9) 清水市：清水市北部山間地域環境管理計画、平成4年3月農林業経営の環境変化に加え、ゴルフ場計画の活発化による、清水市民の水道水源である興津川流域への影響が懸念され始めたことを受けて策定された。このなかで、環境保全指針として、地上の立ち木や植生地被物を完全剥脱し、地形を著しく改変する状態を重度開発と定義し、水源涵養エリアとして、森林転用面積に相当する以上の面積を同一流域内に確保するよう求めている。この重度開発に該当する事業としては、ゴルフ場、大規模農地整備、レクリエーション関連施設、工場流通業務等の団地、住宅団地、廃棄物等の最終処分場をあげている。
- 10) 三浦秀一：山形市における各種緑地、水辺の熱環境比較調査、日本建築学会東北支部1994年度研究報告集
- 11) 三浦秀一：都市における緑地の環境調節効果に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、1994年