

緑の柔構造都市における植栽力学の概念構築と今後の課題

Conceptual Structure of Planting Dynamics in Resilient Green Metropolises and Challenges for the Future

糸谷 正俊*・永井 英樹**・中橋 文夫***

ITOTANI Masatoshi, NAGAI Hideki, NAKAHASHI Fumio

要旨：本研究の目的は、昨年度本学紀要第9号・第10号合併号に発表した「東日本大震災復興計画における、緑の柔構造都市の射程」の理論を進め、「緑の柔構造都市」創造の計画における植栽力学の概念構築と今後の課題を明らかにすることにある。はじめに東日本大震災の被害状況と都市計画・構造力学・エコシステムなどの視点から、研究課題を設定した。次に東日本大震災調査結果を踏まえ、緑の構造力学のあり方を探るために、防潮林モデルのあり方を検討し、今後の方向性を整理した。こうした検討過程・結果から、緑の柔構造都市創造における植栽力学の概念構築の視点を明らかにし、今後の課題として津波に耐えた事例調査、水理学的な実験によるデータの収集分析、並びに鳥取の地震・大火からの復興経験の活用と防災などを指摘した。

【キーワード】 流域、津波、構造力学、都市構造、緑の基本計画

Abstract : Advancing the theory proposed in the article “The Scope of Flexible Green Structure Metropolises for the Great East Japan Earthquake Recovery Program” (published in Issue 9-10 of the *Bulletin of Tottori University of Environmental Studies*), this study aims to clarify the conceptual structure of planting dynamics in “resilient green metropolises” and to identify future challenges. A research agenda is first established from a variety of perspectives including the context of disaster conditions in the wake of the Great East Japan Earthquake as well as urban planning, structural dynamics, and ecosystem science. Next, based on the results of a survey about the disaster, the potential of tide-water control forest models is investigated and future directions are summarized so as to explore potential directions for green structural dynamics. This investigation and its findings clarify views on a conceptual structure of planting dynamics for the creation of resilient green metropolises. Future challenges that are identified include cases studies of tsunami-resistance, as well as the collection and analysis of hydrological experimental data in tandem with disaster response activities and experience in recovery from earthquakes and eruptions in the Tottori Prefecture.

【Keywords】 drainage basins, tsunami, structural dynamics, urban structure, master plan for parks and open spaces

1. 研究の背景と目的

(公社) 日本造園学会の被災地調査 (2011年5月6～8日) に参加し、名取市の由緒ある防潮林の松林が津波

で消滅した現場を見て驚いた。松林の背後に広がる住宅地も押し流され、建物の基礎しか残っておらず、津波の破壊力を実感した。

一方、丘陵地では40年を越えた住宅地において地滑りが頻発した。盛土、切土分布図と崩落地を重ね合わせると地表や路面・擁壁の変動、あるいはブロック塀の崩壊が見られた地点は盛土に集中していた¹⁾。

盛土地の長年に渡る雨水の浸透により、盛土部と谷部の間に浸透水が走り徐々に地滑りが起き、今回の震災をきっかけに、一気に崩壊滑落したのではないかとというのが、参加者の一致した見解であった。

建築・土木の分野では建築基準法などの法体系のもとで構造力学があり、構造物の安全性を数学的に立証しているが、造園の分野では都市公園法、都市緑地保全法などはあるものの、緑を構造物として捉える慣習はなく、工学的に安全性を確かめる研究は少ない。しかし、防潮林は伝統的に防災林として地域の人々の命や財産を守ってきた。構造力学的な裏付けはあるのだろうか。ここに技術の矛盾がある。ならば、数学的に立証して、安全・安心な防潮林や、根の緊迫作用で地滑りを起こさない緑地のあり方が、あるのではないかと思索した。

このように、東日本大震災をきっかけにして、緑の構造計算の必要性を痛感した。起居する鳥取市は昭和17(1942)年に地震、同27年に大火に見舞われ、今日に至る復興経験を活かし、また若桜街道には都市景観を引き立てる街路樹がないなど、緑の防災計画を振り返れば十分ではないことから鳥取市を事例地に取り上げ、本研究に着手した。研究の到達点は、緑・すなわち樹林地の集合を構造物と捉え、津波、火災に耐えうる防災林の構造を明らかにすることにある。

そこで本研究では、昨年度本学紀要第9号・第10号合併号に発表した「東日本大震災復興計画における、緑の柔構造都市の射程」²⁾の理論を進め、緑の柔構造都市の考えを明らかにし、緑の構造計算に基づく植栽力学の概念の構築、並びに緑の柔構造都市の実現に向けての今後の課題の整理を目的とする。

2. 研究の方法と手順

本研究は、①東日本大震災被災地(福島県・岩手県)をフィールドにした「緑の構造力学の検討」である。研究方法は現地調査、文献調査、分析、考察の方法を取る。

調査編では何れも現地に赴き、防潮林、居住地の被災状況などを調査分析した。文献調査では、緊急調査報告、公園緑地技術指針などを分析し、計画の課題を整理した。

3. 先行研究と本研究の位置づけ

先行研究として、(財)リバーフロント整備センターが「河川における樹木管理の手引き」を著し、河川敷の樹木が増水時の水圧に耐える条件を整理した³⁾。論者は

本学紀要第9号・第10号合併号「東日本大震災復興計画における緑の柔構造都市の射程」を書いた。

その後、特筆すべき研究として、「津波災害に強いまちづくりにおける公園緑地の整備に関する技術資料」⁴⁾があげられ、津波災害に耐えうる防災林の考え方が整理されている。

本研究では、こうした研究を参考にして、福島・岩手の震災被災地を2度に渡り調査し、樹木個々の持つ強度に着目し、特性を整理した。このように、本研究では樹木を工学的な視点から捉え、樹木の構造設計の研究と位置づけられる。

4. 研究課題の整理

緑の柔構造都市の計画策定技術は、津波に耐えうる防災林の構造や、緑の都市計画技術を明らかにすることにある。論者は阪神・淡路大震災で被災し、造園コンサルタントとして緑の基本計画などに携わり、緑の防災計画について視点を持った。研究課題は次の通りである。

4-1 流域を捉えた体系的な緑地計画の確立を

地震の被害は、海岸部は津波に、丘陵部は地すべりによるものであった。マスコミの報道は津波被害に集中したものの、仙台市の緑ヶ丘住宅地をはじめとした新興住宅地の被害も大きかった。このような体験から、緑の柔構造都市を標榜するには、海岸部の緑と丘陵部の緑を一体的に捉える必要性を痛感した。

その場合、わが国の都市計画における緑地整備の根幹をなす、緑の基本計画を見ると、それは自治体の行政管轄エリア内で策定されており⁵⁾、わが国の国土構造が流域であることを考えると、その上流部・中流部・下流部に立地する自治体が異なる場合があり、広域レベルの緑地計画も十分ではなく、緑地の連続性が弱く、水系・緑系空間の整備管理において一貫性に欠ける。

また、空間が繋がることにより山に降った雨が腐植土層を形成し、海の生物に極めて重要な因子となるのである。それが養殖牡蠣の養分や魚類の餌となり、豊かな海をつくってくれる⁶⁾。森は海の恋人と言われる所以がここにある⁷⁾。また、生き物の移動空間、つまりエココリドーの役目を果たし、生物多様性推進の視点から見れば⁸⁾、生態回廊都市の創造にも寄与する。このような緑を流域内に担保することにより生き物に優しく、持続性の高いまちづくりが期待される。

このような考え方を、今後は国土形成計画にも位置づけていかねばならない。実現策として地域制緑地制度に防災の視点を取り入れ、保全整備力を高めていく。自然

公園法にも取り入れる必要がある。

4-2 防潮林を構造力学からみた植栽計画の確立を

宮城県名取市の海岸被災地を訪れたところ、貞山運河を挟んだ幅600mもあった防潮林のマツ林が壊滅状況であった。場所を矢本海浜公園に移動して、残ったマツ林の詳しい被災状況を確認した。

現場で閃いたのが、防潮林の構造計算の必要性である。津波の押し波、引き波に耐えうる防潮林の構造の解明が急がれる。

このような視点に立ち、(社)日本造園学会東日本大震災復興支援調査委員会の報告が、(社)日本造園学会関西支部幹事会において行われ、論者は緑の構造計算の必要性を指摘した⁹⁾。

文献調査からはいち早く樹木の構造計算に着目したが、先に紹介した「河川敷における樹木管理の手引き(1999年)」³⁾であることを論者は知った。河川の安全管理の視点から、高水敷に生える樹木が「河川増水時にどの位の負荷がかかると倒木するのか」を検証している。

具体的には樹林地の設定された河川敷の横断面において、樹木群の繁茂状況から粗度係数を設定し、河川増水時の流速、流量、水深がもたらす樹木へのモーメントの算定を試み、それに耐えうる樹林地構造を導いている。それは津波に対して耐えうる、防潮林の構造的耐力を解く同じ方法と受け止めた。見本が狐塚神社にあった(図1)。また、道路の盛土構造が、周囲の水平な地形の田畑に土手を形成し、それが津波を止め、地域住民の命を守った¹⁰⁾。このようなことから構造力学に基づく植栽計画の確立が急がれる。

4-3 潜在的なエコシステムに基づく植生復元技術の確立を

名取市・仙台市・石巻市・女川町の海岸部を調査し、



図1 津波に耐えた狐塚神社(嶋倉正明画伯ご提供)

気づいたことだが、土地利用の多くは人の手が入り、港・防潮林・居住地などに姿を変え、自然緑地・地形が少なかつたことだ。これは海岸部が漁業・居住などの視点から、経済、利便性などに優れているからだ。

歴史を振り返れば、貞観津波(869年)以来、今日まで三陸海岸は18回の津波に襲われたという¹¹⁾。つまり60年毎に訪れる津波の災害を乗り越えて、人々は海岸部に住み続けたのである。従って、海から離れた居住地の高台移転や、従前の力で抑え込む防潮堤の整備は慎重な検討が望まれる。

そこで重要な視点はエコシステムとソーシャルシステムのバランスを保つことである。それは大地の潜在的なエコシステムが機能するレベルに戻し、植生復元技術の確立を意味する。

つまり、昔ながらの森・丘・川・池などを復元し、風・津波などの自然の猛威を受け流す大地に還すのである。山梨県甲斐市に残された釜無川の信玄堤¹²⁾、滋賀県の愛知川、姉川などの河畔林¹³⁾にヒントを見る。そこには河川増水時の厳しい流速流量を石堤と森がしなやかに受け、さばき、流す、川を守る仕組みが残されている。

しかしながら、この度の津波は想定外の規模と報道され、原発施設においてはそれを上回る津波に耐える大規模な防波堤の計画が進められている。その考えは理解出来ないことでもないが、今一度、津波の歴史を振り返り、縄文地図¹⁴⁾などを参考にして、今日に至る地形、森などが大地を守った歴史の事実を検証する必要がある。

5. 緑の構造力学の検討

5-1 緑の柔構造都市とは

緑の柔構造都市については、「緑の柔構造都市の射程」²⁾で概念を整理した。「緑の柔構造都市」とは、阪神・淡路大震災時に街路樹や公園の緑が緩衝帯となり都市を守ったことから、緑の構造力学を明らかにし都市計画に組み入れることにより、柔構造都市を目指すものと位置づけた。その後、2013年度日本造園学会全国大会ミニフォーラム(千葉大学5月25日)において、「流域を捉えた緑の柔構造都市の方向性」について議論された。これらの成果を受けて、緑の柔構造都市の考え方を、今一度整理する¹⁵⁾。

森山氏(宮城大学)は「防災の緑は複合的な機能が重なった結果」と論じた。阿武隈川河口沿いの海岸林の中には、一部海側のマツが残った。大津波は名取市・若林地区で見られた貞山堀と海岸林の美しい風景を破壊し、貞山堀の両側に広がるクロマツ海岸林をなぎ倒したが、狐塚神社の林は残った。三陸沿岸に点在する島々が津波を防い

だ。北上川の上流約50kmまで津波が遡ってきたが河畔林により沿岸の集落が守られた。何れも樹林地の空間構造・地形・郡落構成樹種等が防災に役立ったものと指摘した。

糸谷氏（NPO 国際造園研究センター）は「しなやかな防災林、緑の応災力の考え方」を論じた。近年の台湾中部大地震、今年は全国で豪雨、竜巻などが起こり、自然災害が多様化した。このような災害を防ぐためには、緑の多機能性から「応災力」を提案された。社叢学会の調査では、リアス式海岸の鎮守の森は津波からの緊急避難地として、気仙沼の紫神社は生活の場として利用された。鳥取県八東川は幾度と水害に会い、勘右衛門土手が整備され、非常食としてニラが植えられた。このように緑が災害に承えてきた足跡を指摘した。

林氏（兵庫県立大学）は「阪神・淡路大震災復興の経験を活かしたコミュニティ緑化活動」を論じた。阪神・淡路大震災時に、阪神グリーンネットワークを立ち上げ「瓦礫に花を咲かせましょう」「青空ワークショップ」などのプロジェクトを試みた。東日本大震災後は、南三陸町などの復興まちづくりに参加し、緑化支援やプレーパーク、また「景観と生業に生きる」をテーマとして、再生プランに取り組んでいる。このように復興はコミュニティ活動が効果的であることを指摘した。

藤原氏（大阪府立大学）は「津波、地滑り、液状化を考える。」と論じた。津波では壊滅的な被害が多かったのは宮城県仙台市若林地区である。一方、緑地が被害を抑えた事例として、仙台市のイグネが挙げられた。地滑りでは、仙台市の丘陵地に造られた盛土部分が崩れた。浦安市は埋立地が多いために液状化の被害を受けた。2004年のインド洋津波の復興と再建についてはバイオシールド（自然の盾）が提案され、同じ考えが復興国立公園であり、海岸林であるといえるが、緑地の機能と限界を理解した上で設置することが重要と指摘した。

永井氏（環境設計）は「津波実験から防潮林の構造を明らかにし、先人の知恵に学ぶ緑の構造力学」を論じた。東日本大震災現地踏査の結果、津波は防潮林単体での抑制効果は期待できないこと、地形、周辺構造物と大きく関係することが分かった。今後に向けての提言だが、実験結果を踏まえ、防潮林として威力が最も発揮できた生育環境の確保が重要と考える。先人に学ぶならば、和歌山の広村堤防は安政の南海地震復興時に濱口梧陵氏が私財を投じたもので、昭和南海地震時の津波から地域を守り、その後地域管理で今日に伝えられる。この地域力が防災力に繋がる。樹木も植えられ、景観的にも素晴らしいと指摘した。

このようなことから、本研究では、緑の柔構造都市は津波に抵抗する樹木群の緑の構造計算を明らかにするば

かりではなく、地域コミュニティの力、地域に伝えられた温故知新の技術が包括された緑地が都市に柔構造をもたらすものと、位置づける。

5-2 植栽力学とは

「緑の構造計算」と言っても学術的に概念化されていないので、本研究では、大地に根付く樹木群が津波に耐えうるにはどのような植栽形態であるべきかを力学的に解明することを目指している。具体的には、津波に対抗する樹林地の樹種・樹高・目通り周・植栽密度、そして樹木が良好に育つ地形はどうあるべきかを明らかにする。

指摘した先行研究では引き倒し実験により、河川敷増水時の樹種の抵抗値は明らかにされたが、津波を対象にした防災林の構造的な特性までは明らかにされていない。土木では水理学がある。水の力、つまり川の流れ、流量・流速により河川の堤体、護岸が破壊されない構造を明らかにし、治水に貢献している。このような考えに基づく植栽計画が必要である。

阪神・淡路大震災では住宅地のブロック塀は倒れたが生垣は倒れなかった。また、斜面地は地滑りが起こったものの樹林地は起こらなかった。造園学会の調査では、根の緊縛作用により、根が地中深くに入り込み、地中内を縛り上げる力が働き、地滑り防止効果をもたらしたことを明らかにした。樹木が構造的に抵抗力を持つことを示しているが力学的には解明されていない。ここに津波に耐えうる樹林地の構造があるはずである。

この解明には、規格の異なる樹種、植栽密度の組み合わせにより到達するものと考え。本研究ではそれを「植栽力学」と位置づけ、次のように定義する。

植栽力学の定義

樹木の規格と種類、植栽密度、地形の組み合わせにより、津波・暴風・火災などの外圧、具体的には流量・流速、風力・燃焼力に耐えうる、樹木の抵抗力（値）を算定し、災害に強い安全な植栽計画・構造・盛土地形などを明らかにする力学と定義する。

5-3 海岸林とは

海岸林は、高潮や飛砂防止、防風等の海岸特有の災害を防ぐために、約400年前から人の手によって造られた人工林である。海岸林という言葉は一般的に、海岸防災林として、災害防止機能（防潮、飛砂防止、防風、飛塩、防霧）を持った松林のことと称されているが、実際には災害防止だけでなく、レクリエーションや環境学習、生物多様性保全、CO₂削減効果、景観向上、保健休養などの機能を有している。

本研究が流域を捉えた緑の都市構造についての研究であるため、海岸林の定義¹⁶⁾を以下とし、本節においては、海岸林の機能の一つである津波減災機能¹⁶⁾に特化して方向性を述べる。

海岸林の定義

海岸の塩風の環境のもとで成立している森林群落で、それは砂丘だけでなく、丘陵・崖地に成立する森林も含み、天然生林では内陸とは組成や構造が異なる森林。

津波減災機能

海岸林があることで、津波被害が減ることは古くから知られており、そのために海岸林も造られてきた。わが国では13,000ヶ所が潮害防備保安林に指定されている。

5-4 三陸海岸の防潮林

三陸海岸は、青森県南東部の^{さめかど}鮫角から岩手県沿岸を経て宮城県東部の^{まんごうら}万石浦まで、総延長600km余りの海岸である。海岸中部の岩手県宮古市には本州最東端の^{とどが}鮎ヶ崎があり、宮古市を境に北部は海岸段丘が発達し、南部はリアス式海岸や砂浜の単調な海岸となっている。特に南部においては、海岸線一帯に925haに上る砂地があり、春から夏にかけての東南風によって砂塵は内陸を襲い、飛砂は住居を侵し、農耕地を埋め、あるいは港、河口を埋没して甚大な被害を及ぼしてきた。こうしたことから、旧藩時代から海岸防災林が整備されてきた。

昭和8（1933）年に発生した三陸津波においては、海岸部の防潮林の効果が大きい発揮され、災害復旧の一部として防潮林の造成が県営事業として開始され、第二次世界大戦まで実施された。昭和28（1953）年からは海岸防災林造成事業10カ年計画として、防災林造成事業が実施された。三陸海岸南部は、戦後も幾度の津波と台風により被害を受け、昭和27（1952）年3月の十勝沖地震、同年11月のカムチャッカ沖地震、昭和28年9月の11号、21号台風、昭和34（1959）年9月の15号台風及び昭和35年5月のチリ地震など数回にわたって被害を受けたが、災害復旧が原型復旧を原則として施工されたため、美しい海岸林が形成されてきた。

しかし、2011年3月11日に発生した宮城県東方沖を震源としたM9.0の巨大地震に伴い、東北地方を中心に襲いかかった大規模な津波（東日本大震災）により、総延長約561kmの海岸林が姿を消した。

5-5 現地踏査（防潮林の被害）

(1) 調査地点

東日本大震災（以下、震災）から1年半以上経過した

2012年10月18日から20日にかけて防潮林の被害状況（図2）の調査を実施した。震災からある程度日数が経過していることから、復興事業が進み、津波の被害を逃れた防潮林も塩害による枯死や復興事業の関係から伐採されてしまった場所もあるなど、現地踏査地点の選定が困難であった。そのため、被災地の地元の方々のアドバイスを基に、津波の被害痕跡が残る岩手県、宮城県、両県から、陸前高田市（表1）、気仙沼市（表2）、東松島市（表3）、仙台市（表4）、岩沼市（表5）、亶理町（表6）の計6箇所（図2）を調査地点として選定し、樹種、幹周、損傷状況、周辺地形、植栽密度などを調査した。



図2 調査地点位置図¹⁷⁾

(2) 調査地点の概要と調査結果

表1 陸前高田市・高田松原（岩手県）の状況

<p>写 真</p>	
	<p>写真1 被災前と被災後¹⁷⁾</p>
<p>写 真</p>	
	<p>写真2 調査時の状況（写真撮影：永井英樹 2012年10月18日）</p>
<p>概 要</p>	<p>景勝の一つとして「白砂青松」で有名で、7万本にも及ぶアカマツとクロマツからなる松林であり、観光客も多く訪れていた。陸前高田市は、中心部がほぼ壊滅し、市庁舎は全壊、地盤沈下が84cmになる場所もあるなど、高田松原も海拔0メートル以下となった。</p>
<p>調査結果</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・樹種：アカマツ、クロマツ（流出している樹種はアカマツが多い） ・幹(直径)：自立木Φ250～600mm、倒木（アカマツ）Φ200～400mm ・損傷状況：防潮林は全滅。杭根のものは自立しながら残ったようだが、幹がねじれるように折れている。周辺にアカマツが多く倒れているが、根が皿型状で、根長は1.8m～2.0m ・周辺地形：震災前は陸中海岸屈指の景勝地で、全長1.9キロにわたる弓なりの白砂浜 ・植栽密度（5m×5m）：8～9本/25m²（現存しているものの密度）
<p>備 考</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・干潮時は確認可能であるが、満潮時は海水に埋没してしまうため、かなりの地盤沈下していることが分かる。

表2 気仙沼市最知（宮城県）の状況

写 真	 <p>被災後 2011年4月17日撮影</p>  <p>被災後（1年後） 2012年3月30日撮影</p>	 <p>被災前 2002年8月撮影</p>
	<p>写真3 被災前と被災後¹⁷⁾</p>	
	 <p>写真4 調査時の状況（写真撮影：永井英樹 2012年10月18日）</p>	
概 要	幅5mほどで大規模な防潮林ではないが、倒れず残っている。周辺に港湾施設等がある。昭和52年度潮 害防備保安林として指定	
調査結果	<ul style="list-style-type: none"> ・樹 種：クロマツ（H10.0m） ・幹(直径)：自立木Φ200～400mm ・損傷状況：何本かは幹折れで、根ごと流出した形跡は無い。 ・周辺地形：防潮林の根本に防潮堤が整備されている。 ・植栽密度（5m×5m）：8～9本/25m²（現存しているものの密度） 	
備 考	<ul style="list-style-type: none"> ・近隣に JR 気仙沼線があり、完全に線路が流出している。線路沿いにケヤキの大木が残されている。（Φ400H10.0程度） ・津波の高さ12.0m。 	

表3 東松島市野蒜（宮城県）の状況

写 真	 	
	 	
	写真5 被災前と被災後 ¹⁷⁾	
	 	
	写真6 調査時の状況（写真撮影：永井英樹 2012年10月18日）	
概 要	野蒜海岸沿いに宮城県松島自然の家から航空自衛隊松島基地周辺にかけて、幅100m～200mある大規模な防潮林であったが、自然の家側はほとんど流出。	
調査結果	<ul style="list-style-type: none"> ・樹種：クロマツ（H10.0m） ・幹(直径)：自立木Φ100～400mm ・損傷状況：ほとんどが流出。高さ10m程度のは海岸線と平行にわずかに残っているが、幼木（植樹されて数年と見られる）が傾きながらも残っている。 ・周辺地形：H10mのクロマツの下は約1m程度盛土されている。海岸沿いに堤防あり。 ・植栽密度（5m×5m）：10～12本/25m²（現存しているものの密度） 	
備 考	<ul style="list-style-type: none"> ・東松島市は、東側の野蒜海岸を襲った津波が西側の松島湾まで抜け、住宅地、市街地の3分の2が浸水し、宮城県内では最大規模の被害が出た。市内だけで死者、行方不明者は1,000人を超えた。津波の高さ10.3m。 	

表4 仙台市若林区（宮城県）冒険広場周辺

写 真	 <p style="text-align: center;">写真7 被災前と被災後¹⁷⁾</p>	
	 <p style="text-align: center;">写真8 調査時の状況（写真撮影：永井英樹 2012年10月18日）</p>	
概 要	<p>貞山堀を中心に広がる幅500m もの大規模な防潮林であったが、今回の津波によりほとんどが姿を消した。</p>	
調査結果	<ul style="list-style-type: none"> ・樹 種：クロマツ、アカマツ、タブノキ、ヤマザクラ等（H7m～10m） ・幹(直径)：自立木Φ200～400mm ・損傷状況：倒木の根茎は皿型が多く、幹折れではなく、根ごと流出したものが多い。 ・周辺地形：貞山堀がある。部分的に起伏がある。 ・植栽密度（5m×5m）：3～5本/25m²（現存しているものの密度） 	
備 考	<ul style="list-style-type: none"> ・津波の襲来（H12.2m）で壊滅的なダメージを受けた場所で、津波だけでなく、大きな揺れにより丘陵部も被害を受けている。 	

表5 岩沼市（宮城県）の状況







写 真				
				
写真9 被災前と被災後 ¹⁷⁾				
写 真				
	写真10 調査時の状況（写真撮影：永井英樹 2012年10月18日）			
概 要	<p>貞山堀から海側へ広がる幅500mもの大規模な防潮林であったが、今回の津波により大半が流出、倒れた。海側には防潮堤があったが、見事に引きちぎられるように崩壊した。</p>			
調査結果	<ul style="list-style-type: none"> ・樹種：クロマツ（H5.0～10.0m） ・幹(直径)：自立木Φ100～200mm ・損傷状況：幹が細いものは、根も浅く皿型。海側から100～200mで被害が多く、そこから陸側のクロマツは自立した状態で残っている。 ・周辺地形：防潮林と海岸の間に防潮堤が整備されていた。（津波で崩壊） ・植栽密度（5m×5m）：10～13本/25m²（現存しているものの密度） 			
備 考	<ul style="list-style-type: none"> ・岩沼市は市街地の3分の1以上が津波で浸水。住宅地だけでなく、事業所約200箇所が被災した。 ・津波の高さ8.3m～8.8m 			

表6 亙理町（宮城県）鳥の海の状況

写 真	 	
	 	
	写真11 被災前と被災後 ¹⁷⁾	
	 	
	写真12 調査時の状況（写真撮影：永井英樹 2012年10月18日）	
概 要	鳥の海内にある荒浜港から東側に幅50～100mの防潮林があったが、津波によりほぼ全滅した。倒木等の防潮林の残骸は撤去され、密度等の確認ができなかった。	
調査結果	<ul style="list-style-type: none"> ・樹種：アカマツ、クロマツ（H10.0程度と推定） ・幹(直径)：Φ100～200mm 推定 ・損傷状況：防潮堤がもの見事に決壊し、防潮林をなぎ倒したとみられる。 ・周辺地形：防潮林と海岸の間に防潮堤が整備されていた。（津波で崩壊） ・植栽密度（5m×5m）：8～9本/25m²（推定） 	
備 考	<ul style="list-style-type: none"> ・亙理町は荒浜地区を中心に津波の浸水被害が多かった。町民の死者、行方不明者は280人以上。津波の高さ7.7m。 ・現地にはすでに防潮林は撤去されていたため、幹、損傷状況、密度はWeb等より被災時の写真を入手し推定している。 	

5-6 調査からの考察

調査結果から考えられることは、今回のような規模の津波の場合、松林単独ではあまり効果が期待できないということである。対象地に倒伏して残る樹木の根茎は、杭根ではなく、皿型の根茎が多かった。これは、対象地では地下水位が高いためであるが、陸前高田の松原のように、過去の津波では大規模には倒伏せず、今回の津波で大半が倒伏し、消滅した結果から、津波自体の破壊力がこれまでの津波とは全く異なるものだったと扱うべきである。

しかし、小規模の松林でも気仙沼市最知のように防波堤に隣接する松林は、倒伏せず残っている。東松島市野蒜でも、なぜか起伏の上に残る松林もあった。さらに、様々な文献でも取り上げられた「イグネ」という屋敷林もよく見ると若干起伏した地形の上に植栽された樹木である。これらのことから、地形の形状や起伏、構造物との併用も視野に入れた松林の再生が今後重要になると考えられる。構造物でのハードな整備では、財政状況の厳しい状況下では困難であることから、各地で進められている震災の瓦礫などを活用した起伏美豊かな盛土による樹林帯を検討すべきである。実験や安定計算などの設計計算により、多重防御としての機能を発揮する防潮林モデルの確立が必要である。

5-7 防潮林モデルのあり方

防潮林の効果として、これまでの災害報告や研究等で明らかにされてきたのは以下のとおりである。

(1) 防潮林の効果¹⁸⁾

- i) 津波に乗り上げられた海浜の水産用資材、材木、工作物が人家を破壊する前に防潮林でキャッチし、被害を軽減する。
 - ii) 津波が防潮林内を通過する際に水流の水頭損失を促し、水位を低下させる。
 - iii) 津波の引き波の際、防潮林が摩擦抵抗を増し、引き波の流速を低減し、流出する家屋を捕獲する。
 - iv) 津波にさらわれた人がすがりつく対象となる。
 - v) 海風中の塩分を補足し、農作物の塩害を防止する。
- これらの中で、i)～iv)は防潮林が津波の破壊力に耐えられることが前提とされる。つまり、東日本大震災のように防潮林が倒伏、流出した場合、効果は無いことになる。防潮林自体は津波を100%抑止する耐力は無い。しかし、上記の効果は確認されていることから、効果を最大限に発揮するためには、防潮林が津波で倒伏せず、自立した状態を保つ対策が最も重要であり、本研究の防

潮林モデルと言える。今回の現地踏査とこれまでの研究・文献と課題を整理した結果(表7・8)、今後、実験で検証していくべき防潮林モデルは、以下のようなモデルが適当であると考えられる。

(2) 防潮林モデルの方向性

- i) 防潮林海側に消波工等の構造物の設置
- ii) 起伏あり。ただし、海岸からの距離は変動させ、実験によって検証する。
- iii) 起伏、丘状の盛土地盤に対する津波の抵抗力、安定への検証を行う。
- iv) 防潮林模型は枝葉付き、胸高直径は調査結果から得られた範囲の200mm～600mm、根茎は杭根と皿型で検証する。
- v) 密度は、調査結果から得られた範囲の8～12本/25m²程度とする。
- vi) 津波が段階的な破壊力であるため、段波による影響を検証する。

表7 現地踏査結果のまとめ

調査地	残存樹種	高さ	密度 (本/25m ²)	胸高直径	起伏	隣接構造物
①陸前高田市	—	—	8～9	Φ200～650	—	津波で崩壊
②気仙沼市	クロマツ	10m	8～9	Φ200～400	—	港湾施設あり
③東松島市	クロマツ	10m	10～12	Φ100～400	部分的に起伏あり	防潮堤あり
④仙台市	アカマツ、クロマツ、タブノキ他	7～10m	3～5	Φ200～400	部分的に起伏、丘あり	
⑤岩沼市	クロマツ、タブノキ他	5～10m	10～13	Φ100～200	—	津波で防潮堤被災
⑥巨理町	—	—	8～9	—	—	津波で防潮堤被災

表8 これまでの研究・文献調査の成果と課題

研究・文献	概要	結果	課題
津波災害に強いまちづくりに関する公園緑地の整備に関する技術資料 ¹⁹⁾ (2012.3) (国土交通省都市局公園緑地・景観課)	津波浸水シミュレーションによって樹林地の津波エネルギー減衰効果を検証。 ・樹林帯のみの場合 ・連続型盛土と樹林帯を配置した場合 ・部分的な盛土を配置した場合	【樹林帯のみの場合】 波高7mの津波が樹林幅200mの樹林帯に到達した場合、最大浸水深は約8%、最大流速は約20%低減。しかし、最大クラスの津波が到達した場合は、効果がない。 【連続型盛土+樹林帯】 海岸線に沿って、線状に連続した盛土を設けることで高い効果が得られるが、海から遠い陸地側に設定する方が効果が大きい。複層林でも同じ 【部分的な盛土】 守るべき対象物の海側に盛土を整備することにより一定の効果を発揮させることができる。また丘状の築山を複層的に配置するよりも列数が少なくても一つの築山に津波が当たる面積が大きくなるよう配置する方が効果的。(2列案が効果あり)	・シミュレーションであり、実験での検証が必要 ・枝葉部分の抵抗が有効であるが、シミュレーションには反映されていない。
防潮林の効果と幅に関する一実験 ²⁰⁾ (1966) (中野秀章、森沢万佐男、菊谷昭雄)	津波の海水流が陸上へ浸入するのは、段階的なものとして、段波の破壊力と幅との関係に着目して、各種の幅、立木密度の防潮林の効果を水理実験により検証した。 【実験モデル】 縮尺1/40、波高5m、波速7m/s、防潮林を竹棒として、棒の太さと棒の間隔の組み合わせで35パターンの実験を実施。	1) 段波津波は防潮林に衝突して、防潮林前面にある程度貯留するため、防潮林が無い場合の波高に比べて約50%~90%静水位が上昇する。 2) 防潮林通過後の段波の波高は、防潮林の幅が90cm(実際は36m)ぐらまでは防潮林が無い場合の波高に比べて大きいが、90cm以上になると幅の増加にともなって、静水圧は低下し、防潮林の幅が450cm(実際180m)で約50%の波高になる。 3) 段波津波の動圧力は、防潮林によって減少されるが、防潮林の幅が大きいほど、動圧力の減少効果も大きい。 4) 棒の太さ(幹の太さ)、棒の間隔(樹木密度)の異なった林帯モデルによる動圧力減少効果には顕著な相違は指摘できなかった。	・波高が5mでの検証にとどまっている。 ・幹に対する検証のみで枝葉の検証はない。
津波による防潮林被害と水理実験による検討—東日本大震災3.11巨大津波による被害調査— ²¹⁾ (2011) (土屋十圀、吉江悟、児島正和)	防潮林の損壊を軽減することを目的とし、防潮林の沖側に消波工を設置して、樹林帯内・外の流体の挙動を水理実験によって検討する。 【実験モデル】 縮尺1/50の仙台市若林区荒浜海岸の防潮林50m、樹高10mを想定した水理実験を実施。	消波工は非透過型の方が水平波力は低減するが、消波工と防潮林の間隔を長くしても、短くし過ぎても水平波力が大きくなり低減効果を発揮しない。	・構造物の激しい破壊状況の調査 ・地形の変化(起伏等)での実験 ・防潮林の樹木配置、樹高等の検証

5-8 今後に向けた方針

(1) これからの防潮林（海岸林）

東日本大震災において津波の被害を受けた防潮林は、かろうじて生き残ったクロマツも塩害の影響で枯れたものも多くある。各地で防潮林をはじめとする海岸林の再生プロジェクトが始まっているが、後世に残せる防潮林を目指さなければならない。そのためには、ランドスケープをはじめとし、津波・暴風に抵抗する海岸工学や、クロマツなどの直根性の樹種を用い森林強度を高める森林工学など、様々な分野との連携が重要となる。

これからの防潮林は、前述した防潮林モデルの実験での検証次第であるが、最も重要なのは、防潮林の効果を最大限に発揮させる事ができる状態。つまり生育環境を整えることである。クロマツであれば本来、根茎は杭のような根（杭根）になるが、被災したマツのほとんどは皿型であった。三陸海岸付近は地下水も高いため、杭根となる環境を創りあげるには、起伏や丘状の盛土地盤が必要である。その際には、起伏や丘状の盛土地盤の安定や津波に対する抵抗力の検証も併せて検証する必要がある。

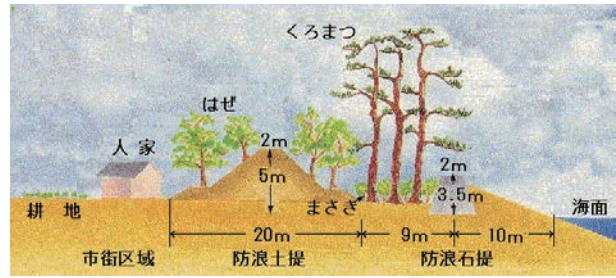
(2) 現存する海岸林への対策

我が国の海岸線は約3万kmと言われる。地震大国とも言われ、全国どこの地域でも津波の来襲する可能性がある。そのような中、現存する美しい「白砂青松」を保全することも私たちの使命である。

現存する防潮林には、胸高直径は細く、樹高も10m未満のものが多く、東日本大震災レベルの津波が来襲した場合は、必ず倒伏することが考えられる。そのような状況から、日常的にできることは、胸高直径を太くするために不要木を除伐し、樹高を10m以上にするなど、生育環境を改善することである。

(3) 先人に学ぶ

本研究を進めるにあたって、必要なことは前述した防潮林モデルの検証であるが、併せて重要なことは、先人の築きあげてきた技術を学ぶことである。例えば、和歌山県有田郡広川町にある「広村堤防」は、濱口梧陵が私財を投じて安政の大地震（安政南海地震）で職を失った地域住民とともに築き上げた（図3）。堤防の完成と同時に植えたクロマツとハゼノキの防潮林によって、昭和21（1946）年の昭和南海地震で起こった津波を食い止め、集落を守るという重要な役割を果たしている。このような過去の津波災害の歴史に着目した視点も今後重要になると考える。

図3 広村堤防断面図²²⁾

(4) 緑地再生に郷土種による時間設計の導入を

緑地再生の方法として時間設計²³⁾による森づくりの方法が必要である。それは郷土の森の完成を概ね30年後に置き、森の表土を撒き出し、時間をかけて植物の自生力と地域住民の参画と協働により森を造りあげる方法を言う。

防風林の林相はクロマツ、カシ類などの直根性が有利と指摘したが、現況の自然林と一体化するような森の整備においては表土から芽吹く、自生種による生態学に基づいた森の復元が有効と考える。

なぜならば気候風土に適し、育つことにより、風・潮などに強い森が復元できるからだ。また、コスト面を比較すると、例えば高さ3m程度の成木アラカシ1万円/本を1,000m²当り60本程度植樹すると施工費60万円となり、表土撒き出し法は500円/m²×1,000m²で施工費50万となる。管理費用をみると、成木植栽は剪定、枝打ちなどを要することから費用が発生するが、表土撒き出し法により再生した二次林は遷移に任すために放置管理となり、管理費不要となる。このようなことから、表土撒き出し法の方が安価に抑えることが出来る。

具体策として、被災地近隣の里山の表土を使う「埋土種子の撒き出し法」を試みる²⁴⁾。森の表土、厚さ10cm程度までには、その森を構成する種子が堆積し冬眠している。しかしながら、ひとたび太陽光を受けると冬眠から目覚め発芽する。その手法でよみがえり、今日に普及したのがメタセコイアだ。方法は表土を採取し、造成地に10~15cm程度の厚みで撒きだす²⁵⁾。斜面地の場合、雨で流失しないように竹しがらを組むと良い（写真13左）。

大阪府の箕面川ダムの斜面緑地で試み（1975年）、今では周辺の森と区別がつかない程、自然林が回復している。箕面川ダムは大阪府が管理する明治の森自然公園内に立地し、ダム建設により失われた自然を復元する使命があった。学術指導を賜った吉良竜夫博士は「まるで、昔からそこに森があったように」と報告書に記され²⁶⁾、40年経過した今日、ダム湖周辺の再生した自然林が水面に映える（写真13右）。

震災後1年経過し、国は震災復興策として、被災地沿

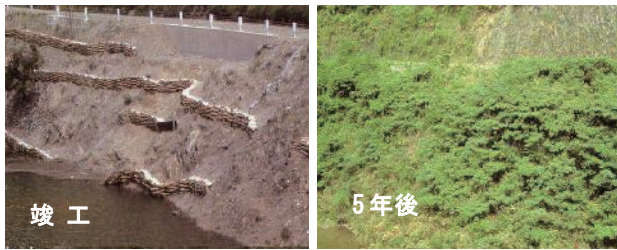


写真13 法面に竹柵を組み表土を撒き出し(左)、郷土種が蘇る(右)²⁴⁾

岸150kmに及ぶ海岸防災林の整備計画を発表した。ここに植栽環境に応じて、埋土種子の撒き出し技術の活用を期待したい。

5-9 まとめ

本章では、東日本大震災被災地調査、並びにこれまで実践されてきた自然再生の方法から、今後の方針をまとめた。

6. 緑の柔構造都市創造における植栽力学の概念構築の視点

ここでは、これまでの調査結果から、緑の柔構造都市における植栽力学の概念を構築するに当たり、地域コミュニティの形成、緑化推進、流域などの視点から取り組むこととする。

6-1 知識結いと推譲による緑化の普及を

今日、わが国は経済・科学が発達し、町はきれいになり便利になった。しかし、人々は幸せになったのだろうか。生活レベルの格差が大きくなり、孤独な生活者が増えた。そこに自然災害が襲う。自由経済がもたらした悲劇かも知れないが、これからは人々すべてが幸せになるシステムを構築していかなければならない。

今こそ「知識結い」を実現すべきである。人々がそれぞれの能力・資源を提供し、協力して民衆共済事業、福祉、建築、仏などを造る結合体をいい²⁷⁾、ここに緑化を組み入れる。植物を植える行為がコミュニティを形成し、生活環境を改善する。その場合、「推譲」に取り組む。富を得た人々が、貧者に無利子で差し出し活用させ、自立すれば感謝の精神で冥加金を差し出し、次世代に繋げていく。人々の絆を生み出す公共文化経営の実現を目指す²⁷⁾。

ここにも緑化を柱としたい。安全・安心なまちづくりと地縁社会を形成していくには緑を推譲の柱に置く。植物を植え、育てることにより光明が見えてくる。

6-2 津波と樹木の剪断・曲げモーメントの関係を明らかにした緑地構造の確立を

被災地を調査して、津波により防潮林のマツが折られ、

根こそぎ倒木した現場を見た。押し波と引き波のダメージによる。その場合、力学的に考えると津波の力、それは津波の流量・流速から計算できる。

次に樹木の抵抗力、すなわち樹木が持つ強度である。垂直に立つ樹木は、津波に対しての抵抗力として幹の剪断力、すなわち幹を断ち切ろうとする力に耐える抵抗力と、幹を折り曲げようとする力、すなわち曲げモーメントの抵抗力、そして引き倒す力に抵抗する根の緊縛作用による抵抗力が指摘される。それぞれには許容力があり、樹種ごとに異なり、限界値を超えると樹木は折れ倒木する。それでは林の場合どうなるのか。その場合、限界値を束ねると、津波に耐える林の強度があるはずである。

津波に耐えうる樹木の剪断と曲げモーメント、根の緊縛作用の因果関係を明らかにすれば強い防災林の緑地構造に到達する。建築・土木設計では構造計算に裏付けされて成立する。防潮林の設計にも同じことが言え、植栽力学の原論が構築される。

6-3 アースダイバーの視点に基づき、自然の要塞の復元を

自然の大地は、人間の経済と利便優先の欲望に犯され、海岸は港に、山麓部は住宅地に変貌した。人間はそこに住み、ビジネスを営み、快適な生活と富を得たのである。犠牲になったのは森林・丘陵地だ。使い勝手が悪いということで、丘地を平坦な地形に変え、家・工場を建て、道路を造ったのである。そこを津波が襲った。防潮林はあったもののなぎ倒された。それは人間が造ったものである。

そこで、アースダイバーは指摘する。アースダイバーとは中沢新一が述べており¹⁴⁾、論者は土地の潜在力を操作するプランナーと捉える。人間が住み始めた頃の大地はまさに手つかずの自然で、海岸にも小高い森林に覆われた丘陵地があり、そこは自然の要塞であった。かつて漁師は、こうした海岸の森や丘を目印に漁に出た。それが津波や強風を遮り、人々を守ったのである。

今日、津波対策として、海岸沿いに盛土構造の道路の計画、海岸沿いに盛り土の緩衝緑地と防波堤の多重構造による土地利用などの声が上がっているが、その原点は人間が破壊した自然の要塞にある。大地の歴史を紐解き、そのありかを探し出し復元を試みる。

6-4 エコシステムとソーシャルシステムの調和

日本列島はかつて照葉樹林で覆われた森の島で、そこは生き物の生態系からなるエコシステムそのものの大地であった。そこに人間が住み、森から食料・燃料・建築・材料などを収奪し、集落をつくり、それが今日の都市に

発展したのである。

つまり、人間は自然の森を駆逐して今日の繁栄を手にし、巨大な都市を造ったのである。そこには経済・利便が主役のソーシャルシステムが優先され、都市はアスファルトジャングル化し、経済効果の低い緑の保全・整備は置き去りにされたのである。その結果、都市はヒートアイランド現象の顕在化、酸性雨問題、災害に弱い脆弱な都市構造に至ったのである。

でも解決策は人口減少が導いてくれる。50年後にはわが国の人口は8,000万人を割り、自ずと建物も減り、コンパクトシステムが標榜されることから、エコシステムとソーシャルシステムのバランスを見直す時期が到来したのである。緑地・建築・土木が対等平等な空間を構成するランドスケープアーバニズムの都市が期待される。

6-5 柔構造、緑の立場で問題を追求する

緑を、単に植栽地だけでなく、水面、グラウンド、農地、公共空地などを含む広い空地の概念で捉え、緑による都市の骨格の形成が安全・安心都市の構造の根幹となるという視点から、都市づくりを提案し、その推進を図る。現在の法定計画・行政計画は、積極的な都市改造の方向がかならずしも明示されていない。厳しい財政状況にある現実も踏まえ、ハードな都市強靱化よりも、空地を増やし、緑化を進めるといふ、柔軟な緑の防災対策は、工夫次第で安くて確実な安全性強化につながる。

6-6 地震にも、風水害等の災害にも対応できる流域単位の緑の柔構造都市の形成を

従来の防災対策は、地震には耐震性の強化を、津波には防潮堤を、火災には耐火構造を、水害には河川改修を、土砂災害には砂防ダムや急傾斜地対策を、といった、1対1の防災施設の整備を推進してきた。そして、地震や集中豪雨などの自然災害の脅威に対抗して、より安全性を高めるための対策を順次即物的に講じてきたのが実情である（河川改修なら30年確率降雨に対応する河川改修を100年確率降雨に対応する水準にまで堤防を嵩上げすることや、防潮堤の高さをより高くするなど）。

しかし東日本大震災や温暖化による異常気象の続発を受けて、その対策の遅れが目立ち、さらに自然災害と都市災害の複合化も危惧されるため、対策が根本から見直しを迫られている面がある。

緑の柔構造都市は、災害を食い止めるというより、柳に風と受け流す（京都大学森本幸裕名誉教授の提言）ことや、災害の力をいなす（東京都市大学涌井教授の提言）ことを念頭においた防災都市づくりである。緑の効果で、

多様な災害の力を柔かく受け入れて凌ぐ構造を有する都市をイメージするものである。

絶対的な防災が不可避であるなら、減災・応災（災害に対処する応用力）に資する緑の対策が必要と考えるからである。

このため、より広域的な観点から、山、里、川、海のつながりに配慮した河川流域を計画単位とする柔構造都市形成が求められる。

6-7 まとめ

本章では、今日の地域環境を巡る社会趨勢を鑑み、主にまちづくり・東日本大震災・国土開発・防災などの視点から、わが国では地域コミュニティが大切にされてきたこと、被災地の調査結果・自然の保全と社会開発の歴史・緑の基本計画・防災拠点のあり方、並びに河川流域単位の緑の柔構造都市創造の考え方などをとりまとめた。

7. 今後の課題

7-1 津波に耐えた植生・地形の事例調査

津波の歴史は古く、耐えた痕跡が海岸沿いの植生・地形に残っているのではないかと繰り返すが、吉村昭は、三陸海岸では60年に一度の割合で津波が襲うことを明らかにした。被害の記録を活かすべきだ。アースダイバーの指摘を受け、襲われたと想定される地域のボーリング調査を実施すれば、過去の津波の被害状況が確認できる。

三陸海岸の狐塚神社のマツは残った。周りの住宅地は全滅で荒野と化したのが、なぜマツは残ったのか？神秘的な現象である。ささやかな盛土が幸いしたと言うが、残念なことに今夏、枯れてしまった。でも、人々の記憶には永遠に残ることだろう。

こうした調査や現象が行われている場所を探し、植生・地形・地質・津波の痕跡などを調べ、自然が造り上げた森と大地の要塞の構造を明らかにし、復興計画に組み入れる。

7-2 水理学的な実験によるデータの収集分析

土木の領域に水理学がある。河川工学の主翼をなし、安全安心な川づくりに貢献している。この技術を津波に応用し、その力に耐えうる防潮林の構造を実験により明らかにする。被災地で津波に耐えた樹種・規格・植栽密度・地形などが確認できた。

これらのデータを組み合わせることにより、津波に対応できるバッファゾーンのモデルがあるはずだ。それは津波の応力、すなわち流量・流速に対応する防潮林と盛土の組み合わせにより明らかになる。

そのためには実験が必要である。ミニチュアの水路を造り、樹種・規格・植栽密度・築山の地形を想定した10/1程度の防潮林をつくり、水理実験を繰り返すことにより、津波に耐えうる植栽モデルを突き止める。

7-3 津波に強い防潮林のモデル設計の策定

7-2の結果に基づき、防潮林のモデル設計を策定する。はじめに、津波が防潮林に作用するモーメントを算定する。例えば津波の高さを1m~20mと定め、1mごとに防潮林に及ぼすモーメントを算定する。

次にそれぞれのモーメントに耐えうる樹林地形態を検討する。モーメントに耐える樹林地の抵抗力として、樹木それぞれが持つ剪断力、曲げモーメントの耐える力、枝ぶり・葉の密度からなる租度係数、そして根の緊縛力などがあげられる。

これらを勘案して、樹種・樹高・樹幅・目通り周・植栽密度、そして盛土地形を組み合わせ津波の抵抗力を算定し、それぞれの力に応じた配植パターン図を作成する。

7-4 法律の整備を

建築・土木設計においては建築基準法、建築基準法施行令、都市計画法、宅地造成規正法などがあり、設計者は法律に従い、計画、構造などの基準を定め、建築確認申請、構造計算書などを作成する。造園の場合は都市公園法があるものの、そこには構造の基準は定めていない。建築・土木の法律を流用している。

これでは緑地の本質論を突いた設計はできない。そこで、法定計画である緑の基本計画の防災系統の緑に、植栽力学を設け、モデル設計として位置づける。

7-5 鳥取市緑の柔構造都市創造の課題

本研究の目的は、緑の柔構造都市創造における植栽力学の概念構築と今後の課題を明らかにすることにある。ここでは、繰り返すが鳥取市は昭和17年に地震、同27年に大火に見舞われ、その復興経験が貴重であることから、具体例としてとりあげ、鳥取市における緑の柔構造都市創造の課題を示し、植栽力学構築の一助とする。

(1) 過去の教訓を再生利用する

東日本大震災では、明治と昭和の大津波の教訓が生かされた集落（たとえば宮古市姉吉地区の大津波石碑「此処より下に家を建てるな」）の被害は少なかったが、その教訓を忘れ去った都市や集落の被害は大きかった。

大地震・大火という厄災の経験を防災対策に最大限に生かすことが鳥取市の行政と市民の務めであり、被災者

の苦労が報われることになる。このため、記憶の風化が進んでいる災害の教訓を呼び戻し、今、どう生かすかを研究し、防災対策で実践する。たとえば、災害を記録した石碑や五臓円ビル（二度の大災害に遭遇したが残った）等をめぐる防災教訓ツアーを実施することや、防災の日にイベントとして鳥取大火の焼け止まり線を今のまちにテープで示すなどの啓発活動等を行い、オープンスペースや耐震・耐火地区の重要性を啓蒙する。

(2) 日常有効なモノが非日常の際に使われる

鳥取市には広域防災拠点や広域避難地となる広域防災公園は未整備であるが、この機能を持った代替拠点施設は、それなりに配置されている。しかしあくまで代替施設であるため、いざという時、どこまで機能するか、疑問もある。その点、兵庫県が阪神・淡路大震災の教訓を生かして整備した「兵庫県立三木総合防災公園」は、だれもが防災の拠点施設と認識でき、また、防災学習などの日常活用もできる施設となっている。

この観点からすると、市民スポーツ広場や若葉台ニュータウン中央公園など、被災時に広域避難場所や自衛隊の駐屯などの救援拠点になる可能性はあるが、自助、共助そして公助という時系列での安全確保に役立つ拠点となりうるかどうか、日頃からの防災意識が利用者、管理者に徹底していないと役立たない場合もあることを指摘しておきたい。

(3) 水害と砂の害

鳥取市の災害史のなかで、昭和18年の鳥取地震と昭和27年の鳥取大火についてはすでにふれた。鳥取の災害では、あと特徴的な水害と砂の害についても簡単にふれておく。

鳥取県智頭町沖ノ山を源流とする千代川は、延長56.8kmの急勾配の河川である。同じ中国山地を水源としながら、瀬戸内海に流れる吉井川や旭川は河川延長が長く、ゆったりと流れているのに比べ、千代川流域は降水量も多く（「雨の因幡に風の伯耆」といわれる）地形的に増水しやすい構造であり、河口部が漂砂によって閉塞することもある。流域はいくたびも洪水等の被害をこうむった（写真14）。江戸時代以降、人工河川である袋川の開削は河川交通の利便性を城下町にもたらした反面、何度も城下町が洪水に見舞われた。近年の新袋川の開削や千代川治水事業（特に昭和前期）により水害頻度は軽減したが、鳥取市は依然その危険性を孕んだ都市であるといえる。

砂の害については、近年はあまり話題にはならない。鳥取砂丘は中国山地の風化花崗岩の砂が急流河川である千



写真14 鳥取市を縦貫するように流れる千代川
(写真撮影：糸谷正俊 2013年3月)

代川によって大量に運ばれ、また、沿岸流と冬の北風によって河口部周辺に集積したものである。もともと砂地の上に樹木が繁茂し、砂地は小さかったようであるが、古代から中世にかけてタタラ製鉄の燃料のために樹木を伐採した結果、砂丘が人為的に広がったという経緯がある。市内ではないが、鳥取県中部の天神川河口の砂丘の中から昭和52(1977)年、弥生時代～室町時代に至る大規模な集落遺跡が発見された。砂が激しく移動するため、いつしか砂の下10mに埋もれ、だれもその存在を知らなかったという²⁸⁾。

農作物や人家への砂の害を押さえるため、防風林の植栽が進んだが、現代は逆に砂丘への植物侵入が進んで砂丘面積が減少する事態を招いている。その結果、天然記念物であり、国立公園特別保護地区であり、ジオパークの中心的存在であり、県最大の観光資源である鳥取砂丘を存続させる対策(防風林を縮小するなど)が講じられている。

以上、自然を改変し文明を築いてきた人間とその反発・反動とも見える災害の、鳥取市を舞台に繰り返し展開されてきた歴史の一部を見た。

さて、鳥取市緑の柔構造都市創造は、まさに、物質文明の恩恵に浸って自然を省みない人間と都市の歩みを反転させ、自然と共生する都市文化の構築に向かって、舵をきりかえるところからスタートしなければならない。

経済優先から環境優先への価値観の転換。物の豊かさから心の豊かさへと生き方を変えること。

20世紀後半以降今日まで地球環境時代が叫ばれて久しいが、世界の大国の論理は協調性が無く、環境問題や国際紛争の解決は先が見えない。

こうした閉塞状況の中、緑の柔構造都市創造の取り組みは、グローバルで、文明史の転換ともなりうる人類の新たな挑戦ともいえる。文明の進歩と調和(1970 日本万博)、自然と人間の共生(1990 大阪花の万博)、自然の叡智・地球大交流(2005 愛・地球博)。日本が国際博覧会で世界に発信した理念は一貫している。しかしその成果はまだ見えない。日本がモデルを示さなければならな

い。それを鳥取で実現する、くらいの気概で取り組みたいプロジェクトとして緑の柔構造都市がある。

7-6 水と緑がネットワークした緑の柔構造都市(緑のジオパークシティ)を目指して

都市計画、緑の基本計画(公園・緑地計画)に緑の柔構造都市を位置づけ、事業化を図るには、まだまだ基礎的な情報が不足している。計画技術としても深化が求められる。いうまでもなく行政、地域社会の賛同も必要である。

以上から本項目では、概念的に鳥取市の緑の柔構造都市化の方向(構想)を示すこととする。

はじめに構想の考え方を述べる。鳥取市は歴史上、地勢的要因等から水害という宿命を背負っている。そして活断層による地震のリスクを抱える。フェーン現象、大雪、砂など災害要因にも事欠かない。

しかしこのような自然の攪乱のダイナミズムは、日本の、いや地球のどこにおいても、多かれ少なかれある。地球、地殻は動いている、それを普段忘れていただけである。鳥取市は他地域に比べ、急流河川があり、砂丘があり、荒々しい海があり、温泉があることで、この自然のダイナミックな営みを感じさせてくれる風景が多い地域となり、風光明媚な地域となっているのである。まさにジオパークである。

自然の攪乱とは、視点を変えると、自然の恩恵であることは世界4大文明が大河川流域に栄えたことをはじめ歴史が物語っている。わが国でも、大災害の不幸を乗り越えた上に新しい文化が生まれたことが各方面から指摘されている²⁹⁾³⁰⁾。

鳥取市は、一方で災害のリスクを背負いながら一方で豊かな自然の恵みを受けている、というジオパークの都市であることが個性となっている。この個性、特徴を防災面でも活かすことが重要である。

少し具体的に、水と緑がネットワークした緑の柔構造都市の形態を以下に考察する。

①鳥取市の都市構造を規定する日本海、および千代川とその流域河川を緑の骨格軸として保全整備し、その結びつきを強化する。

②特に、湖山池、袋川、安長堤防林、並びに勘右衛門土手(市域外の八頭町八東地区であるが)は、江戸時代東村勘右衛門が村人を指導して自然石を積み上げ八東川を築堤、藤を這わして土手を守り、飢饉に備えてニラを植えた。勘右衛門はのちに一揆の首謀者として死罪に処せられた²⁸⁾。など、水と緑の物語のポイントとなる地区は、ネットワーク結節点として公園緑地化するなどの保全整備を図り、日常的に

防災学習等に活用する（写真15）。

- ③久松山、鷲峰山、霊石山などの市街地背後の山、急峻な傾斜地、独立峰については、水と緑のネットワーク結節点として保全整備する。
- ④特に久松山から摩尼山にかけての山地は、市街地近傍にあり、歴史性、自然性に富み、また市街地と鳥取砂丘地区の間を繋ぐ重要な緑地であるため、緑の拠点区域として保全整備策を強化する。
- ⑤地震大火などの都市災害に対応するため、広域防災拠点、広域避難地、避難路となるオープンスペース（できれば広域防災公園として新設）を確保し、日常的にも多様なレクリエーションの利用拠点となるようしっかりと整備する。
- ⑥市街地内の公共用地（特に道路と河川と公園）と民有地（住宅、駐車場、商業ビルなど）の緑化を推進し、市街地内での水と緑のネットワークを形成し、これも日常的な防災学習等に活用する（たとえば神社や寺院境内にあるイチイガシは飢饉対応で植栽された一奈良市春日大社の例—ということや、ブロック塀は地震で凶器となるが生垣は避難路となって人命を守る—阪神淡路大震災の実例—ことなどを、市民に啓発する）。
- ⑦市街地内で大火や大地震の教訓となっている五臓円ビル、袋川兩岸（開削後、水害が多発し鳥取市街地にとってアキレス腱ともなった河川。また戦後人家が川岸に立地したため鳥取大火の際に焼け止まりとならなかった）を、防災学習の拠点（日本の近代の大火として著名な酒田の大火、飯田の大火などの際、焼け止まりとなった拠点施設や空地なども比較する）として公園化を推進する。
- ⑧以上をまとめると、骨太の水と緑のネットワーク形成で、流域の緑の柔構造都市のフレーム（骨格に該当）をつくり、鳥取市街地においては、池、丘陵、公園緑地等を拠点（脳、心臓、肺といった臓器に該当）とし、河川、水路、道路等を活用したきめ細かい水と緑のネットワーク形成（血管、筋、神経系統に該当）により、安全で安心できるコンパクトシティ



写真15 八東川の東村勘右衛門の碑（左）と勘右衛門土手（右）
（写真撮影：糸谷正俊 2013年3月）

を実現させる、というのが基本的な枠組みとなる。

- ⑨鳥取市緑の柔構造都市は、都市のもつ自然性・歴史性に立脚した都市づくりという点では、「緑のジオパークシティ」の構築を目指す取組みであるとも換言できる。

7-7 まとめ

本章では、「植栽力学」という新しい学問領域を確立するために、津波の歴史、水理学、モデル設計、法整備、並びに鳥取市をモデルとした緑の柔構造都市実現の課題をとりまとめた。

あとがき

緑の柔構造都市は論者の自宅が阪神淡路大震災で被災し、被害のひどかった神戸市内を調査した折、倒れる家屋を街路樹が支え棒となり道路を守っている光景を目にして、緑で都市を守れないかと閃き、技術士会の機関誌「月刊技術士」に投稿したのが「緑の柔構造都市」の小文だった。

それから、14年経ち、東日本大震災の被災地に飛び、再びこの言葉が脳裏をよぎり、本研究に着手した。着目点は「緑の構造計算」である。しかし、造園には構造計算のカリキュラムがない。樹木は風で倒れるが、「倒れないようにするための構造計算は十分ではないのでは」との疑問が湧き、同じことが津波にも言えまいかと思った。

もう一つの視点は流域である。恩師、片寄俊秀先生（元関西学院大学教授）は「都市計画は流域で考えろ」と常々おっしゃられ、山・里・町・海に繋がる水と緑のあり方に着目した。鳥取市の緑の柔構造都市を目指すために、主に千代川流域を調査した。そこには勘右衛門土手に代表される温故知新の技を見た。

鳥取市は大地震と大火に遭遇し、市街地は廃墟と化した。今日見事に復活し、防火建築、格子状の道路配置、公園計画と防災対策に配慮した都市構造になっている。これをベースにして、本研究で導かれた防災林と緑地配置計画が実行されることにより、鳥取市の緑の柔構造都市が実現しよう。そのためには課題で指摘した研究を着実に進めていかねばならない。

本研究を進めるにおきましては、嶋倉正明氏、宮城大学教授の森山雅幸先生には大変お世話になりました。ここに改めてお礼申し上げます。また、本学東樋口護教授の高所のかつ適切なアドバイスをいただきました。深謝いたします。

本研究は2012年度鳥取環境大学特別研究に採択された研究で、ご高配を賜りました本学の関係各位にお礼申し上げます。終わりに本稿編集におきまして建築・環境デザイン学科3年、貞吉亮君の協力を付記しておきます。

【参考文献一覧・用語の説明】

- 1) 村山良之 (2011) 『仙台の地形改変地 (宅造地) における被害速報』 山形大学
- 2) 中橋文夫 (2012) 「東日本大震災復興計画における緑の柔構造都市の射程」『鳥取環境大学紀要』 第9号・第10号合併号
- 3) (財)リバーフロント整備センター (1999) 『河川における樹木管理の手引き』 山海堂、pp. 82-126
- 4) 国土交通省都市局公園緑地・景観課 (2012) 『津波災害に強いまちづくりにおける公園緑地の整備に関する技術資料』
- 5) (社)日本公園緑地協会 (2007) 『緑の基本計画マニュアル』
- 6) 松永勝彦 (1993) 『森が消えれば海も死ぬ』 講談社、pp. 32-39
- 7) 畠山重篤 (1994) 『森は海の恋人』 北斗出版
- 8) 私たちの子孫の代になっても、生物多様性の恵みを受けとることが出来るように、生物多様性条約に基づき、生物多様性の保全と持続可能な利用に関わる国の政策の目標の取り組みの方向を定めたもの。平成7年10月の生物多様性国家戦略を決定し、平成14年に「新生物多様性国家戦略」の見直しを、そして平成19年3月に「第三次生物多様性国家戦略」を閣議決定した。環境省自然環境局自然環境計画課 (URL: 2012年5月12日現在) <http://www.biodic.go.jp/hbsap.html>
- 9) (社)日本造園学会 (2011) 『東日本大震災復興支援緊急調査報告書』 仙台チーム・関西支部
- 10) 朝日新聞 (2011年4月24日朝刊) 「命救った盛り土高速」
- 11) 吉村昭 (2004) 『三陸海岸大津波』 文藝春秋、pp. 60-62
- 12) 武田信玄が釜無川沿岸に構築した川除用の堤防、山梨県甲斐市にある。信玄は1542年に治水工事に着手。特色はまず将棋頭という圭角の石堤を築いて御勅使川の水流を二分し、その本流を釜無川浸食崖の赤岩 (高岩) に当らせ、また十六石という巨石を配して水勢を減殺するという自然力を利用した工法で、さらに釜無川左岸には1,000余間 (1,800m余) の堅固な堤防を築き、これに雁行状に配列した霞堤防を設けて、大出水に備えたことにある。飯田文弥 『世界大百科事典14巻』 平凡社、p. 129
- 13) 琵琶湖に流入する川の多くは護岸が河辺林によって緑取られている。洪水対策として堤防を守り、農用林 (里山) として人々の役に立ってきた。「河辺いきものの森パンフレット」 滋賀県東近江市
- 14) 中沢新一 (2005) 『アースダイバー』 講談社
- 15) 糸谷正俊、林まゆみ、藤原宣夫、森山雅幸、永井英樹、中橋文夫 (2014) 「流域を捉えた緑の柔構造都市論の方向性」『ランドスケープ研究』Vol. 77 NO. 4 pp. 338-339 (公社)日本造園学会
- 16) 中島勇喜、岡田穰 (2012) 『海岸林との共生』 山形大学出版会、p. 27、p. 49
- 17) 河北新報社 (2012) 『東日本大震災全記録』 河北新報出版センター
- 18) 首藤伸夫 (1985) 「防潮林の津波に対する効果と限界」『海岸工学論文集』第32巻、pp. 465-469
- 19) 国土交通省都市局公園緑地・景観課 (2012) 『津波災害に強いまちづくりにおける公園緑地の整備に関する技術資料』
- 20) 中野秀章、森沢万佐男、菊谷昭雄 (1966) 「防潮林の効果と幅に関する一実験」『林業試験場研究報告』 (194)、pp. 155-166
- 21) 土屋十囀、吉江悟、兎島正和 (2011) 「津波による防潮林被害と水理実験による検討 - 東日本大震災3.11巨大津波による被害調査 -」『前橋工科大学研究紀要』 15号、pp. 9-15 社会環境工学科
- 22) 気象庁 (URL: 2013年11月10日現在) <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/inamura/p4.html>
- 23) 植物は生長することから、播種、苗木植栽で幼林を整備し、時間をかけて成林に育て上げる。森としての完成形を概ね30年後とし、最小規模の樹林地設計方法をいう。
- 24) 環境設計 (2000) 「箕面川ダムにおける自然回復の状況調査」 大阪府安威川ダム建設事務所
- 25) 梅原徹 永野正弘 (1997) 「土を撒いて森をつくる研究と事業をふりかえって」『保全生態学研究』vol. 2、pp. 9-26
- 26) 環境設計 (1977) 『箕面川ダム自然環境の保全と回復に関する調査研究』大阪府北部ダム建設事務所、pp. 10-16
- 27) 池上惇 (2012) 『文化と固有価値のまちづくり』 水曜社、p. 17、p. 16
- 28) 内藤正中、日置叡左エ門、真田廣幸 (1997) 『鳥取県の歴史』 山川出版社、pp. 33-37、pp. 181-184
- 29) 森本幸裕編 (2012) 『景観の生態史観』 京都通信社、pp. 202-205
- 30) ドナルド・キーン 上田正昭 (対談) (2012) 『「東日本大震災被災社叢復興への取り組み」シンポジウム「社叢が紡ぐ地域の絆〜いのちと心を守る鎮守の森〜」』『社叢学研究』 第10号、pp. 30-31

(受付日2013年10月30日 受理日2014年1月22日)