研 究 資 料

J-STAGE Advance published date: 2023.12.20
https://doi.org/10.2150/jieij.22000630

空間認知を考慮した屋外避難時の低輝度照明計画：気仙沼湾の防潮堤周辺を対象として

専門会員 小林 茂雄（東京都市大学）
正会員 角舘 政英（ぼんぼり光環境計画）
専門会員 山口 秀樹（国土技術政策総合研究所）

Spatial Cognition in the Development of Low-luminance Lighting Designs for Emergency Outdoor Evacuations: Seawall Area around Kesennuma Bay

Fellow Member **Shigeo Kobayashi** (Tokyo City University),
Member **Masahide Kakudate** (BONBORI Lighting Architect & Associates, Inc) and
Fellow Member **Hideki Yamaguchi** (National Institute for Land and Infrastructure Management)

ABSTRACT

A lighting design was implemented around the seawall in Kesennuma City, which took into account the surrounding illuminance and the sense of continuity between the sea and the city. The road surface illuminance and the luminance distribution of the entire field of view were measured from the inside of the seawall toward a hill, and the visibility of landscape elements related to evacuation was evaluated. In addition, a survey was conducted after setting the lighting environment at a low illuminance level, and a lighting method considering the balance of landscape elements in the field of view at the time of a natural disaster was examined. The results highlight the importance of creating light that matches the terrain; emphasizing slopes and stairs, reflecting the surface of the water, and aiding people in recognising the evacuation route, while suppressing the luminance of the entire field of view.

KEYWORDS： wide area evacuation, low luminance lighting, spatial recognition, seawall, terrain, luminance distribution

1. はじめに

気仙沼湾の湾奥に位置する宮城県気仙沼市の内湾地区は，浜街道の宿場町，漁師町として発展し，魚市場を中心とした水産都市気仙沼の顔として栄えてきた．また市内各方面からの交通結節点でもあり，気仙沼観光上の起点としても重要な役割を担ってきた．ただし1956年に魚市場が湾の南側に移転してからは，産業や商業は新市街地への移転が進み，経済的には衰退傾向となっている．そして2011年の東日本大震災の津波によって，内湾地区の中でも魚問屋の並ぶ魚町と商業集積エリアの南町が大きな被害を受けた．もともと防潮堤が一切なく，街と港が隣接していた地域であったが，震災後は新たに防潮堤が建設される計画が出された．

本研究では海と街と山が接近する気仙沼市内湾地区に新設された防潮堤周辺において，避難誘導と景観を考慮して計画した夜間照明環境の実測調査を行い，その結果を報告する．筆者らは2015年から2017年にかけて現地で昼夜の避難路認識調査と，夜間の避難を誘導する照明実験を行ってきた[1, 2]．路面照度を1 lx～2 lxと抑えながらも，高台の位置や方向が認識できるように光源を配置し，効果を検討した．その成果を踏まえて，場所ごとの歩行性能，県市民と共同した境界の無い地区全体の夜間景観形成，地形や高台への避難誘導効果を統合した照明計画を行った．ここでは新たに設置された防潮堤周辺の照明整備後の照度と輝度レベルを実測するとともに，避難に関わる景観要素の視認性を評価する．また停電時など最小限の光とする場合を踏まえて，低輝度レベルの光環境を設定した調査も行う．そしてこれらの結果から，視野内での景観要素のバランスを把握しながら，災害発生時の空間認知を考慮した低輝度照明計画についてまとめる．

2. 防潮堤と照明計画の概要

2.1 防潮堤計画と街との関係

気仙沼市内湾地区の防潮堤建設については，2011年から3年の期間を経て住民と合意形成がなされた[3, 4]．表1にその経緯を示す．堤防によって街と海とが断絶しないように，高さや手法が調整されたことが特徴である．最終的に採用されたフラップゲート式の防潮堤は，コンクリートの防潮堤の上に起伏式の壁を設置するもので，普段は倒れており，津波が到達すると浮力で起き上がる仕組みである．これにより地盤面から1.3 mと低く抑えられた（T.P.（東京湾平均海面）4.1 m）．フラップゲート式の防潮堤がない南西側は，T.P.5.1 m（地盤面3.3 m）の堤防が整備された．ただし，海側の盛土による緑地化と防潮堤の後背地に建つ公共施設（名称：ムカエル）やデッキと組み合わせることによって，堤防のコンクリート部分がほとんど見えないようになっている．これらの場所は災害時の利用に限定されず，日常のアクティビティやイベントにも利用しやすいように計画されている．具体的には，休憩スペースの確保，イベント用の電源確保，

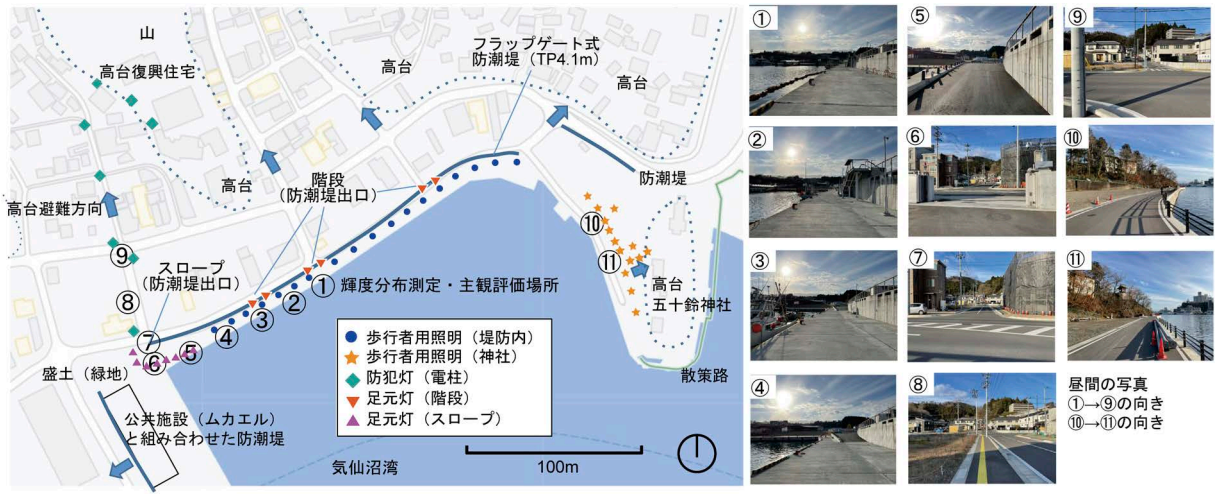

図1　気仙沼市防潮堤周辺の実測調査場所

Fig. 1　Survey location around the seawall in Kesennuma City.

表1　防潮堤設置までの経緯

Table 1　Background of the installation of the seawall.

2011年3月	東日本大震災発生
2011年9月	宮城県から、津波シミュレーションの結果をもとにL1津波（数十年から百数十年に一度程度の到達が想定される津波）を防ぐための防潮堤を被災地の沿岸に建設する計画が示された。計画された防潮堤はT.P.（東京湾平均海面高）6.2mである。計画嵩上げ地盤面（T.P.1.8m）から4.4mの高さとなり、防潮堤によって街から海への眺望が遮られることが懸念された。 内湾地区には津波に耐えた建物がまだら状に残存し、修繕されて復旧されたものもあり、大規模な嵩上げ工事はできなかった。住民は湾の風景を地域の象徴として捉えており、防潮堤によって街から海への景観が阻害されることには反対であった。また防潮堤は、水産業や観光産業にとっても、防災的な観点からも悪影響があると考えられた。 入り組んだ湾の奥にあるこの地区は、どの地点も背後に山が迫っているという地形的な特徴がある。海岸から高台への避難距離は総体的短く、高台への避難が比較的容易である。これは平地が広がっている隣接地区（鹿折地区や南気仙沼地区）に比べて津波による人命被害が少なかったことにも表れている。そのため住民は、防潮堤の整備よりも高台への避難路の整備による津波対策を要望した。
2012年1月	住民の要望を受けて、気仙沼市が防潮堤を含めたまちづくりのアイデアを求めた「内湾地区復興まちづくりコンペ」を開催した。その結果、浮上式防波堤を湾口部に設置する案が最優秀作品に選ばれたが、前例がないとのことで認められなかった。
2012年6月	住民や事業者の代表者らによる「内湾地区復興まちづくり協議会」が設立され、以降継続的に勉強会が開催された。
2012年12月	宮城県は防潮堤の高さを見直し、T.P.5.2 m（地盤高から3.4m）と当初より1m低くした。しかしそれでも、街から海への眺望が確保できないとの理由により、住民は合意しなかった住民側からは湾口防波堤や可動式防潮堤などを提案した。
2014年3月	内湾地区の防潮堤の計画が確定された。最終的に防潮堤は、①非居住エリアの無堤化、②魚町側のフラップゲート式の防潮堤(T.P.4.1m)、③南町側の緑地や公共施設等と組み合わせた防潮堤の3種類が建設されることとなった。
2015年7月	工事着工
2021年	防潮堤完成

景観に配慮した舗装整備などが進められた．図1に内湾地区の防潮堤の位置を示す．

2.2　防潮堤の照明計画

防潮堤周辺の照明整備については，復旧計画である被災前の状況に戻すことが前提とされた．道路照明基準の平均路面輝度1 cd/m^{2}が要件となり，アスファルト塗装の場合は路面平均照度15 lx，コンクリートの場合は10 lxとなる．初期の復旧案は，取り付け高さ10 mのポール灯（LED220 W,

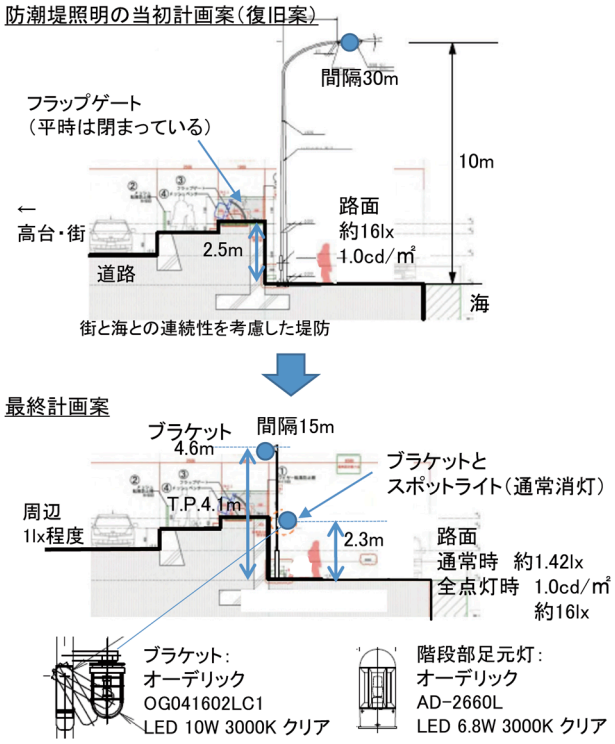

図2　防潮堤の照明計画

Fig. 2　Lighting plan for the seawall.

25000 lm）を30 m間隔で設置するという，県道の照明設備に従うものであった（図2上）．この案では平均照度が16.5 lx確保されるものの，最大照度が約200 lx，最小照度が約2 lx（均斉度0.015）となった．一方で，県道以外の道路や海岸の平均照度は0.23 lxから1.96 lx程度であり[1]，周辺環境の照度レベルを大きく超えていた．光源直下の照度の高さによって，周囲の地形や避難経路がかえって認識しにくくなると危惧された．

防潮堤の外側の空間や海が認識されることは，街の連続性の面でも避難時の空間認知の面でも重要であると考えられた．そこで，周辺の照度レベルに合わせること，堤防内の明暗対比を緩和すること，光源の高さや配置を街と海と一体化させることを採り入れた案を作成した．照明灯の高さ，間隔，照度レベル，配置を変更したシミュレーションを行い，県や市や住民とそれぞれの照明計画案のメリットとデメリッ

トを説明して協議した．そして最終的に，5.5 mのポールに10 W（800 lm, 3000 K）のLEDブラケットを4.6 mの高さと2.3 mの高さに2灯設置し，39 W（2128 lm, 3000 K）のスポットライトを2.3 mの高さに1灯設置，取り付け間隔を15 mとする案が採用された（図2下）．上部のブラケットは堤防の外側に向けて，堤防上の歩道の照明としても働くものである．スポットライトは通常は消灯しており，作業などに必要な時だけ点灯する．点灯時の平均路面照度は16.0 lx，均斉度は0.318となる．スポットライト消灯時の平均路面照度は1.42 lx，均斉度は0.150となる．

港湾利用漁業者などにアンケートを行った結果，通常利用時は作業照明は必要ないという回答があり，通常利用時の照明制御を基本として行うこととなった．そのため当初の復旧計画と比較して消費エネルギーは約1/10となった．またこの状態は堤防周辺の道路の路面照度の範囲に収まっている．さらに堤防の出入口となる階段の上側と下側には，ブラケットと同類の器具（6.8 W）を設置している（図2）．段差を照射すると共に，堤防照明との連続性を持たせた．図3に，防潮堤整備後の通常時の点灯状況を示す．

3. 調査概要

図1に示す，五十鈴神社（宮城県気仙沼市魚町2丁目）から公共施設「ムカエル」（宮城県気仙沼市南町海岸1丁目）までの防潮堤と，高台付近までに至る経路において調査を行った．約30 m間隔で，防潮堤の内側（海側）を6箇所（①～⑥），防潮堤の外側から高台へ向かう道路を3箇所（⑦～⑨），五十鈴神社の高台に接近する経路を2か所（⑩⑪）の合計11箇所を調査地点とした．①と③と⑤は堤防の出入口となる階段に近い地点で，②と④は階段と最も離れた地点である．⑥は堤防のスロープを上がった出入口の内側で，⑦は外側である．⑨の先にある高台復興住宅は筆者らによって目印となる照明（図1上部の防犯灯）が設置されており，⑩⑪の五十鈴神社の高台も，筆者らによる照明実験[1]を元に階段や経路に常設の照明が設置されている．

2021年12月8日（月齢4，曇り）に，昼間と夜間通常時（堤防内はブラケットと足元灯を点灯，スポットライトは消灯）において，全11箇所での全視野輝度分布測定，路面照度測定，主観評価を行った．夜間の防潮堤の内側の5箇所（①～⑤）については，さらに低照度・低輝度となる条件でも調査を行った．ブラケットを消灯して堤防出入口となる階段の足元灯のみ点灯するパターン（以下「階段のみ点灯」）と，防潮堤の全照明を消灯するパターンである．ただし全消灯でも，堤防以外の照明は点灯しているため，遠方の光は視認できる．昼間の調査は11時から17時に，夜間の調査は19時から21時に行った．輝度分布は1.5 mの高さで，360度全天球カメラ（RICOH THETA Z1）の露光時間を変えて測定している．測定範囲は0.001 cd/m^2～100,000 cd/m^{2}である．照度の測定範囲は0.01 lx～100,000 lxである（コニカミノルタT-10A）．

主観評価は，その地点から最初に目的とする階段や交差点まで，危険や不安を感じず「安全に避難できる」かを次の4段階で評価した．数値は集計用の百分率を示す．

図3　通常時の照明（上下のブラケットと階段部足元灯のみ点灯）a
Fig. 3　Normal lighting (upper and lower brackets and stair lights) a.

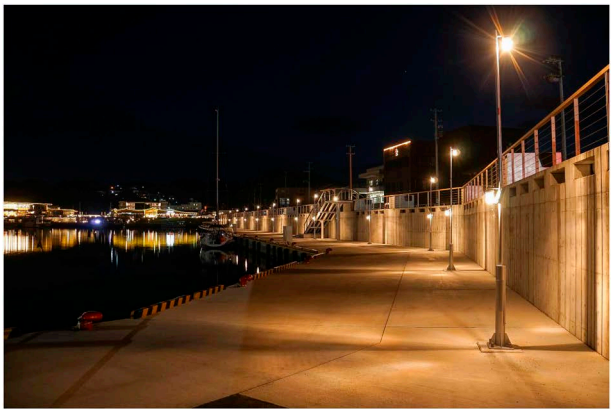

図3　通常時の照明（上下のブラケットと階段部足元灯のみ点灯）c
Fig. 3　Normal lighting (upper and lower brackets and stair lights) c.

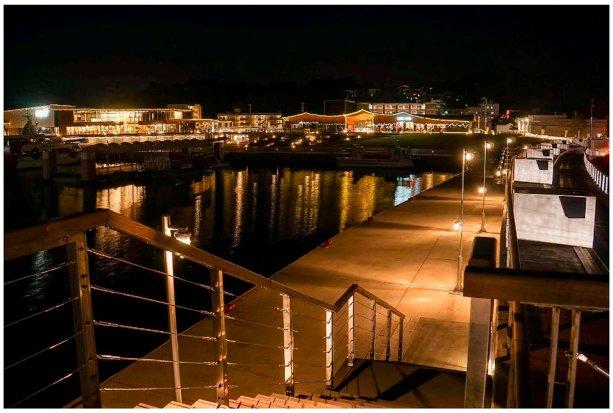

図3　通常時の照明（上下のブラケットと階段部足元灯のみ点灯）b
Fig. 3　Normal lighting (upper and lower brackets and stair lights) b.

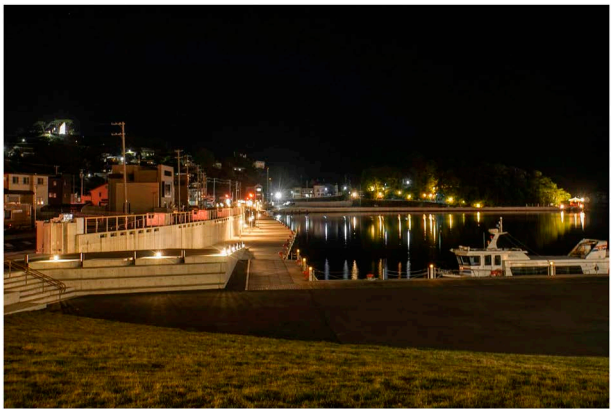

図3　通常時の照明（上下のブラケットと階段部足元灯のみ点灯）d
Fig. 3　Normal lighting (upper and lower brackets and stair lights) d.

・安全に避難できる（危険や不安を感じない）：　100%
・どちらかというと安全に避難できる　　：66.7%
・どちらかというと安全に避難できない　　：33.3%
・安全に避難できない（危険や不安を感じる）：　0%

また避難に関わる景観要素の視認性として，「路面」「階段（防潮堤出入口）または高台への交差点」「山や高台」「海」を取り上げ，それぞれの要素が認識できるかどうかを3段階で評価した．

・認識できる　　：3
・やや認識できる：2
・認識できない　：1

主観評価の被験者は20代から50代の6名（男性4名，女性2名）であり，3名が初めてこの場所を訪れた者である．

4. 調査結果

4.1 結果の概要

調査結果を表2に示す．夜間通常時の路面照度は，堤防内側は0.47 lx～1.86 lx（高さ1.5 mの全球平均輝度は0.25 cd/m^2～0.67 cd/m^2），堤防外側の道路は0.06 lx～11.58 lx（全球平均輝度は0.12 cd/m^2～1.71 cd/m^2），五十鈴神社前が0.20 lx～0.30 lx（全球平均輝度は0.12 cd/m^2～0.14 cd/m^2）である．堤防外側の道路は交差点近傍のみ街路灯が設置されており，その直下で極端に照度が高く，街路灯の中間で極端に低くなる．「階段のみ点灯」では，路面照度が0.14 lx～0.82 lx（全球平均輝度は0.07 cd/m^2～0.44 cd/m^2）である．堤防内側の「全消灯」では，路面照度が0.06 lx～0.78 lx（全球平均輝度は0.10 cd/m^2～0.44 cd/m^2）である．全消灯ではスロープに近い⑤地点を除いて，路面にほとんど光は差していない．

表2には，各地点での全球（視野全体）の平均輝度，主要な景観構成要素の立体角率（全視野における景観要素の立体角の比率）とその平均輝度，全球輝度の相対度数（立体角の比率）を示している．また「安全に避難できる」評価は，4段階の評価を均等に重みをつけて平均したものを百分率で表している．夜間通常時は78%～100%で，ほぼ安全に避難できると評価されている．堤防外側の街路で路面照度が低い地点⑧でやや評価が下がっている．階段のみ点灯時は，67%～89%で，通常時より評価は下がるものの，避難に際する危険や不安はあまり感じられていない．全消灯時は，61%～67%で，評価はさらに低下している．ただし堤防内の照明を全消灯したとしても，「安全に避難できない」と回答した人は全くいなかった．

図4に，路面照度と全球平均輝度と，「安全に避難できる」評価の平均値（百分率）との関係を布置している．路面照度とも全球平均輝度とも正の相関が認められ，路面照度との方がやや高い．地点⑤は全消灯でも消灯されなかったスロープの足元灯が差している．周囲との強い明暗の対比が生じており，照度や輝度レベルほど安全に避難できると評価されなかったと考えられる．階段のみ点灯時や全消灯時では，路面照度が0.1 lxを下回っている地点もあるが，縦軸が50%を上回り，「安全に避難できる」側と判断されている．これは，堤防によって土木的な安全を感じること，遠方の光が視認できること，眼が暗さに順応して避難に関わる低輝度の視対象が認識されることなどが関わっているのではないかと考えられる．

図5に，避難に関わる景観要素の平均輝度とその視認性評価との関係を布置している．表2には元となる値を示している．景観要素の平均輝度は，該当する要素と光源が一体として認識される場合は光源を含んで計算し，独立して認識され

表2　調査結果
Table 2　Survey results.

条件	地点			路面照度(lx)	輝度												主観評価				
					平均輝度(cd/m2)						輝度相対度数						安全に避難	避難路に関する認識 3認識できる 2やや認識できる 1認識できない			
					全球	路面	堤防	階段	山・高台	海	<0.001	<0.01	<0.1	<1	<10	10≦		路面	階段・交差点	山・高台	海
夜間	通常時	堤防内	①	0.47	0.2500	0.0770	1.5844	0.5968	0.4788	0.2374	31.54%	12.88%	44.00%	9.64%	1.80%	0.15%	94%	2.8	3.0	2.2	3.0
			②	0.76	0.2900	0.1330	0.9766	4.3331	0.6786	0.1896	31.01%	12.19%	34.29%	19.94%	2.46%	0.12%	100%	3.0	3.0	1.7	3.0
			③	1.36	0.3950	0.1979	1.4159	0.6004	0.7437	0.2996	23.33%	12.69%	34.72%	27.89%	1.21%	0.16%	100%	3.0	3.0	2.2	3.0
			④	1.86	0.5000	0.2730	1.6749	1.1291	0.9847	0.5757	28.17%	12.56%	16.41%	37.90%	4.70%	0.26%	100%	3.0	3.0	1.7	3.0
			⑤	0.91	0.4450	0.1022	0.3770	6.3045	0.8652	1.0988	23.80%	14.53%	34.59%	25.54%	1.31%	0.23%	100%	3.0	3.0	1.7	3.0
			⑥	0.95	0.6650	0.0198	0.9787	0.0232	0.4240	1.6550	38.97%	22.95%	27.20%	8.91%	1.64%	0.32%	94%	2.7	3.0	2.8	3.0
		堤防外	⑦	0.38	0.6450	0.7910	1.9044		0.2443	2.4276	38.09%	19.11%	19.22%	21.75%	1.63%	0.20%	94%	2.5	3.0	2.7	3.0
			⑧	0.06	0.1200	0.0265	2.3972		0.8136		55.18%	16.97%	21.66%	5.61%	0.48%	0.11%	78%	1.8	3.0	2.5	2.3
			⑨	11.58	1.7050	0.6838		0.2940	1.1469		1.65%	6.82%	37.96%	41.34%	11.98%	0.25%	94%	2.3	3.0	2.8	2.3
		神社横	⑩	0.30	0.1400	0.0048	0.2727	4.0381	1.1613	0.0678	66.40%	14.76%	14.33%	3.72%	0.69%	0.10%	89%	2.0	3.0	3.0	3.0
			⑪	0.20	0.1200	0.0174	0.0044	3.1331	0.5178	0.1484	65.11%	16.35%	13.97%	3.81%	0.68%	0.07%	83%	2.0	3.0	3.0	3.0
	階段のみ点灯	堤防内	①	0.25	0.0710	0.0121	0.7400	0.6414	0.2274	0.3314	53.87%	22.49%	19.24%	3.50%	0.75%	0.15%	78%	2.0	2.8	2.2	3.0
			②	0.14	0.0850	0.0074	0.0710	3.6207	0.5613	0.2290	68.05%	13.44%	14.96%	2.74%	0.72%	0.10%	67%	1.8	2.8	2.2	3.0
			③	0.27	0.0700	0.0068	0.1736	0.1151	0.5799	0.3437	71.37%	10.55%	14.27%	3.06%	0.67%	0.09%	72%	2.0	2.8	2.2	3.0
			④	0.14	0.1400	0.0101	0.1229	0.1356	0.7513	0.5839	61.55%	16.58%	13.16%	7.44%	1.07%	0.20%	72%	2.0	2.8	2.2	3.0
			⑤	0.82	0.4350	0.0867	0.3620	0.1164	0.7359	1.1427	29.25%	12.49%	31.87%	24.94%	1.23%	0.22%	89%	2.5	2.8	1.8	3.0
	全消灯	堤防内	①	0.06	0.1440	0.0051	0.0625	0.0178	0.4305	0.2559	71.10%	11.59%	14.39%	2.20%	0.65%	0.07%	61%	1.3	2.7	1.7	2.7
			②	0.09	0.0950	0.0035	0.0827	0.0440	0.5212	0.2119	72.02%	11.95%	12.96%	2.28%	0.69%	0.10%	61%	1.3	2.2	1.7	3.0
			③	0.10	0.1050	0.0047	0.0535	0.0174	0.3277	0.3033	74.26%	10.95%	12.04%	2.22%	0.46%	0.07%	61%	1.3	2.7	1.5	3.0
			④	0.14	0.1450	0.0094	0.1165	0.2175	0.8877	0.5924	60.10%	18.95%	12.66%	6.99%	1.09%	0.21%	61%	1.3	2.5	1.5	3.0
			⑤	0.88	0.4350	0.0850	0.3676	0.0758	0.8114	1.0919	26.30%	14.46%	33.07%	24.76%	1.19%	0.23%	67%	1.8	2.8	1.8	3.0
					立体角率																
昼間		堤防内	①		100%	33.77%	4.48%	4.71%	1.46%	8.08%							100%	3.0	3.0	2.8	3.0
			②		100%	33.78%	7.40%	0.28%	1.50%	9.08%							100%	3.0	2.8	2.8	3.0
			③		100%	31.67%	7.40%	4.56%	0.74%	5.85%							100%	3.0	3.0	2.8	3.0
			④		100%	34.90%	7.08%	0.16%	1.06%	6.36%							100%	3.0	3.0	2.8	3.0
			⑤		100%	18.41%	17.70%	14.61%	0.62%	2.33%							100%	3.0	2.8	2.8	3.0
			⑥		100%	35.76%	1.33%	6.65%	1.20%	1.22%							100%	3.0	3.0	2.8	3.0
		堤防外	⑦		100%	40.82%	4.30%		0.57%	0.53%							100%	3.0	3.0	2.8	3.0
			⑧		100%	29.36%	0.16%		1.00%								100%	3.0	3.0	2.8	3.0
			⑨		100%	39.16%		0.03%	1.19%								100%	3.0	3.0	2.8	2.5
		神社前	⑩		100%	18.01%	1.03%	0.81%	5.89%	18.07%							100%	3.0	2.8	3.0	3.0
			⑪		100%	24.66%	2.00%	1.65%	6.42%	30.70%							100%	3.0	2.8	3.0	3.0

る場合は光源を外して計算している．今回は，評価地点から20 m以内の光源は景観要素の平均輝度に含めず，それ以上離れた光源が景観構成面に重なっている場合は光源の輝度を平均輝度に入れることとした．

夜間通常時は，階段・交差点はどの地点でも視認性が高い．路面の視認性は，堤防内で高くそれ以外はやや低い．堤防内の路面輝度が比較的高いためと，堤防自体に光が当たっているため路面も認識しやすかったのではないかと考えられる．山・高台の視認性は，平均輝度が高いものの，かなりばらついている．堤防や建物で遮られるために，地点によって僅かにしか見えないことと，山全体が照らされているわけではなく部分的に光があることが関係しているものと考えられる．海の視認性は，海に隣接する堤防内部では高く，それ以外でやや低くなっている．

階段のみ点灯時では，通常時よりも輝度が低下した路面①～⑤の視認性が大きく下がっている．階段・交差点，山など他の要素の視認性はあまり変わっていない．全消灯時は，輝度の下がった路面と階段・交差点だけでなく，山・高台の視認性も低下している．しかし海の視認性は変わらず高く保たれている．対岸にある光が，水面の揺らぎなどで広がって反射しているためだと考えられる．

4.2　景観要素の輝度分布と視認性

今回照明計画を施した堤防内において，堤防の出入口となる階段に近い地点①，階段から離れた地点②，五十鈴神社に近い地点⑪を取り上げ，景観要素の見えの大きさと輝度と視認性，そこからの避難安全性との関係を考える．図6に，各地点での条件別写真，景観構成要素の立体角率と平均輝度の関係，視野全体の輝度のヒストグラム，景観要素の視認性評価結果を示している．

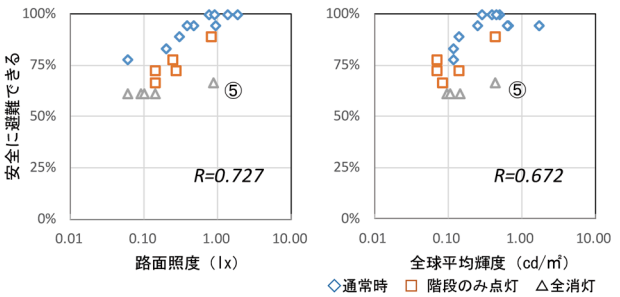

図4　安全に避難の主観評価と路面照度・全球平均輝度との関係

Fig. 4　Relationship between subjective evaluation of evacuation safely and road surface illuminance / global average luminance.

・階段に近い地点①

避難に関わる景観要素の立体角率は，路面が最も大きく30%台であり，海が8%，階段と堤防が4%～5%，山・高台が1.5%である．平均輝度は，通常時は，堤防が最も高く1.0 cd/m^{2}を越え，次いで山，階段，海の順で0.1 cd/m^2～1.0 cd/m^{2}の範囲にあり，路面が0.1 cd/m^{2}をやや下回っている．階段のみ点灯時は，堤防と階段が同程度，次いで山と海が同程度，路面が最も低く0.01 cd/m^{2}程度となる．全消灯時は，山と海が同程度で，堤防と階段が0.1 cd/m^{2}を下回り，路面は0.01 cd/m^{2}を下回る．

視野全体の輝度をみると，通常時でも大半の輝度は10 cd/m^{2}未満となっている．一方，0.001 cd/m^{2}未満の超低輝度部分も多く（30%以上），通常時はおよそ空の部分であり，階段のみ点灯時と全消灯時は路面などが含まれる．この輝度を持つ領域は暗さに順応しても非常に視認しにくいといえる．

路面の視認性は通常時は高く，階段のみ点灯時で下がり，全消灯時でかなり下がる．山・高台の平均輝度は条件によってほとんど変わらないものの，視認性は，階段のみ点灯時は通常時より高まり，全消灯時は低下している．これは，路面の輝度が下がることによって周辺の景観要素が見やすくなることが一つの理由として考えられる．一方で全消灯時は，階段の光がなくなるため，山の光があったとしても位置関係が分かりにくくなるのではと推測できる．山の高輝度部分は高台にある街灯や建物の光であり，地点①からは階段の先の避難方向にこれらの光が位置している．階段の照明が消灯することで，山と階段の関係が曖昧になり，堤防の奥の地形として捉えにくくなったのではないだろうか．

「安全に避難」の評価は，通常時，階段のみ点灯時，全消灯時と順に下がっていくものの，全消灯時でも61%と高い水準である．堤防出口の直近であることと，路面が十分視認できなくても階段と周囲の景観がある程度認識できているためだと考えられる．

・階段から離れた地点②

防潮堤の出入口である階段は約60 m離れており，地点②からはどちらも約30 mの距離にある．避難に関わる景観要素の立体角率は，路面，海，堤防，山・高台は地点①と同様であり，階段は0.28%と小さくなる．平均輝度は，通常時は階段が最も高く4.3 cd/m^2，次いで堤防，山・高台，海，路面の順で0.1 cd/m^2～1.0 cd/m^{2}の範囲にある．階段のみ点灯時は階段が最も高く，次いで山，海で，堤防が0.1 cd/m^{2}を下回り，路面は0.01 cd/m^{2}を下回る．全消灯時は，山，海は変わらず，階段と堤防と路面が0.1 cd/m^{2}を下回る．階段の立体角率は小さいが，階段上部と下部の足元に設置された光源が階段と一体に見えるため，平均輝度は高い．通常時と階段の

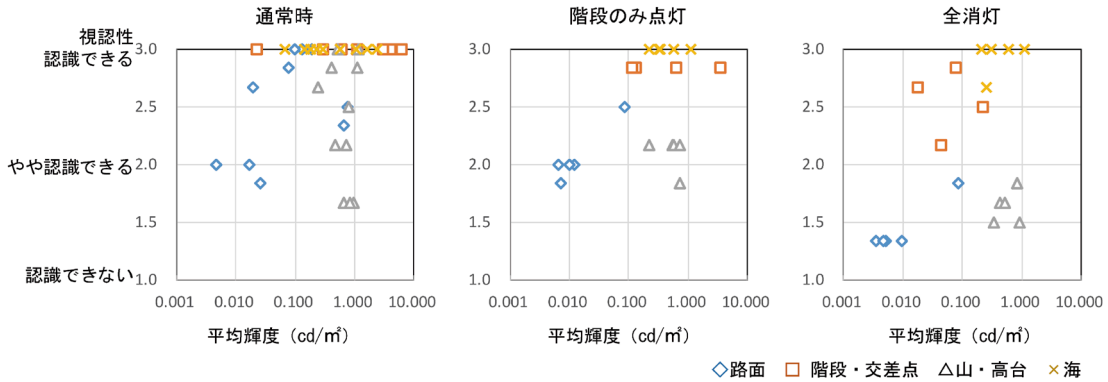

図5　景観要素の平均輝度と視認性との関係

Fig. 5　Relationship between the average luminance of landscape elements and visibility.

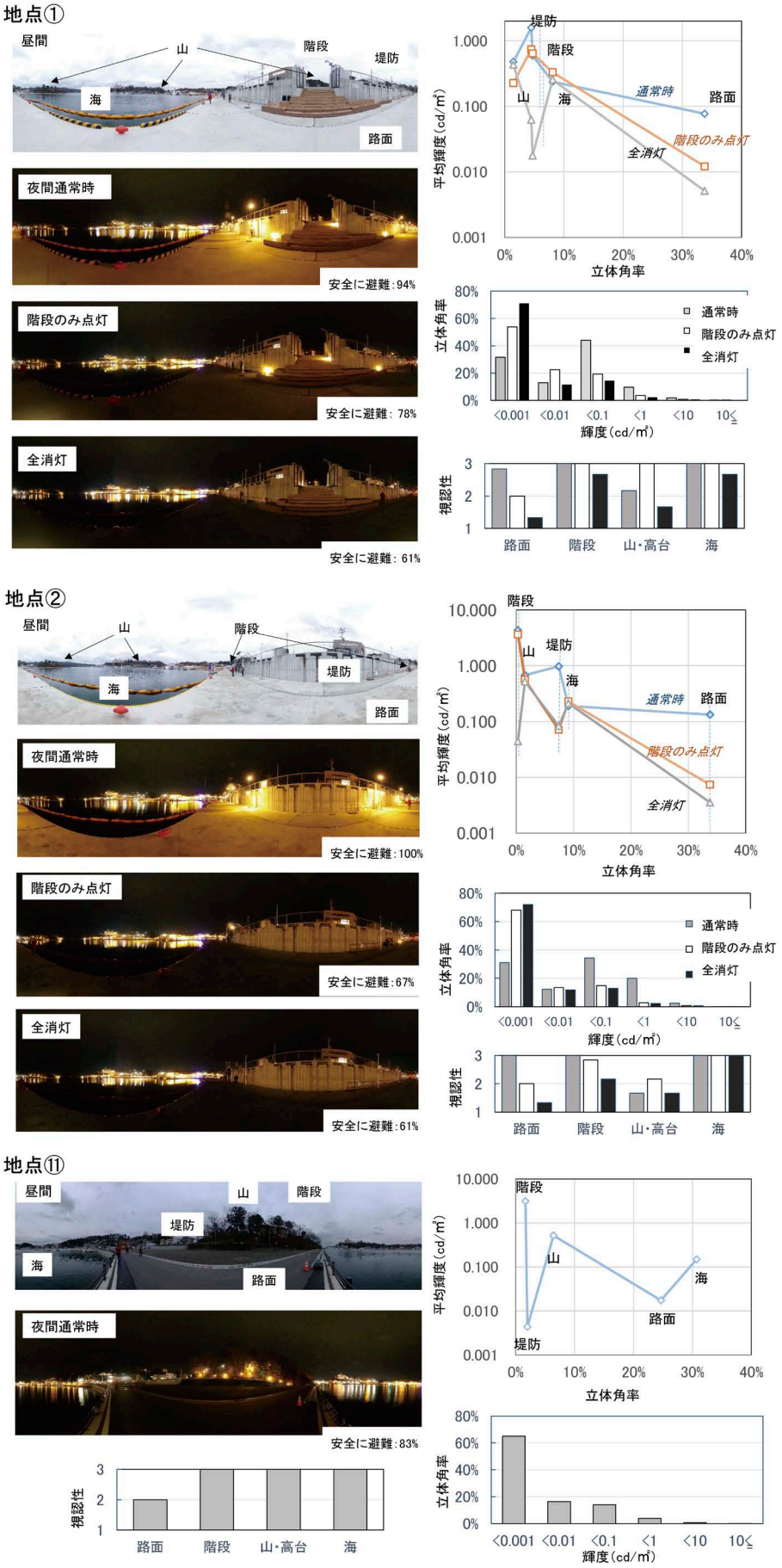

図6　各地点での照明条件ごとの景観要素の立体角率と平均輝度

Fig. 6　Solid angle ratio and average luminance of landscape elements for each lighting condition at each point.

み点灯時において階段の視認性が高いのは，階段の形状を認識できるからだと考えられる．他の景観要素の視認性は，地点①と同様である．堤防側の山が遮られて見えにくいため，山の視認性は低くなっている．

全消灯時は路面や階段の輝度が低く，視認性も低いが，「安全に避難」の評価は61%である．遠方の光が堤防や階段に届いて0.05 cd/m^{2}程度の輝度があり，暗順応することである程度視認できていることが空間認知と安心感につながっているのではないかと考えられる．

・五十鈴神社に近い地点⑪

夜間通常時の景観要素の平均輝度は，階段が最も高く3.1 cd/m^2，次いで山，海が0.1 cd/m^2～1.0 cd/m^{2}にあり，路面が0.1 cd/m^{2}を下回り，堤防が0.01 cd/m^{2}を下回る．階段の立体角率は1.7%と小さいが，視認性は高い．周辺に対して輝度が高く，段状に光が配置されているため認識しやすいといえる．また高台に分散して設けられた光は立体的な形を表し，地形を点ではなく領域として認識することに寄与していると思われる．対岸の光が海へ広く反射することによって海も認識できており，全体的な空間認知が高まっている．そのため路面照度は低いものの安全に避難できると評価されていると考えられる．

5. 低輝度避難照明計画の考え方

災害発生時の広域避難の際に考慮すべき照明計画について，これまでの調査で得られたことをもとに，空間認知と輝度分布の観点から考える．夜間に屋外で避難を開始するとき，初めに周囲を見渡し，高台などの安全な方向，川や海や崖などの危険な位置，そして直近の経路を把握する必要がある．夜間の避難を考える際には，必ずしも地域全体の分かりやすさを高める必要はなく，避難に関わる部分の空間認知が確保されればよい．そのためには避難に特化した要素がバランスよく視認できるようにすることが効果的だと考えられる．通常は避難経路の照明のみを整備しようとするが，より広域での照明の配置を検討しなければならない．また安全を確保するためには，ある一つの目的地や特定の避難経路に対して光の整備を絞るのではなく，見失ったり行き止まったりする危険が高くならないように，複数のルートと手掛かりの光を用意することが望ましい．災害の状況変化に応じて，避難者が柔軟に適応できるように，要素を重複させることが求められる．気仙沼の調査・実験[1, 2]で得られたこと，筆者らの岩手県釜石市[5]，陸前高田市[6]，福島県いわき市[7]，静岡県東伊豆町[8]，での避難照明に関わる研究成果を踏まえて，低輝度照明の配置の考え方を整理して下記に示す．できるだけ他の地域にも適用可能な一般化した記述としている．また都市の景観構成要素と空間認知の関係は，ケヴィン・リンチの考え方[9]を参照している．

①地形を認識する光

広域での視認性を確保するためには，まず眼の順応輝度を下げなければならない．特に停電が発生した場合，光の届かない暗闇が至る場所に発生する．それらは月や星で照らされるか，周囲の人工照明でわずかに照らされる程度である．照度は0.001 cd/m^2～0.1 lx，輝度は0.0001 cd/m^2～0.01 cd/m^{2}程度と考えられる．こうした暗闇の中でも周囲の地形に関わる領域を広範囲に，不完全であっても認識できる必要がある．そのとき，遠方の光を個別の点として認識するのではなく，光が連続したり点在したりすると，空間の位置関係を把握しやすくなる[1, 5, 7]．特に山や高台は避難の目的ともなる重要な要素であるが，視野の中に占める割合は低く，分散されていることが多い（本調査では立体角率が0.57%～6.42%）．高台がどの範囲から見えるかを考慮しながら光を配置していく必要がある．また海や川などの水面は離れる対象として認識される．このとき水面による反射の広がりは，面としての地形認識に寄与する．

②目印の形を認識する光

津波や集中豪雨などの水害では，海や河川から直ちに離れて高台へと避難しなければならない．避難場所そのものでなくても，そこに接続する交差点，堤防の出入口，橋などは，避難の目印となる．これらの要素は周囲よりも輝度が高く，また点としてよりも形が認識できた方が，避難の際の迅速な行動に結びつく[2, 5, 8]．形が分かることでその要素の意味や役割と，安全性や通行性や方向が理解しやすくなる．

③経路と傾斜を認識する光

避難経路に沿って光が連なっていると，道筋として認識しやすくなる．光の間隔は密にする必要はなく，30 m～60 m毎に設けられれば良い[6, 7]．本調査でも60 m離れた階段のみに光を点灯した条件で検討した．交差点などの要素がこうした間隔で連続して設けられることによってでも，連続した経路として認識できる．また終点が明瞭だと，方向が分かりやすく誘導効果を高める[9]．階段や坂道などに対して，どこに段差がありどちらに傾斜しているかを示すことは，安全確保と避難方向や経路の把握のために重要である．

④極端な明暗差を排除

街路灯など高輝度な光源はグレアとなるばかりか眼の順応輝度を上げ，周辺の地形や路地を見にくくする[8]．特に停電時を考慮するなら，通常以上に低レベルとすることが重要である．光源の輝度はできる限り抑えるのが良い．また，路面や壁面も必要以上に照明しない方が良い．本調査では路面平均輝度が0.0035 cd/m^{2}でも，視野内に極端な明暗差がない場合（全球平均輝度0.095 cd/m^2）に「安全に避難できる」側と判断された（図6地点②）．できるだけ順応輝度を抑えて，光の届かない周辺を把握できるようにする．長距離を移動することと周囲の地形を認識することを考慮した上で，広域での輝度のバランスを考える必要がある．

6. まとめ

海と街の連続性が考慮された気仙沼市の防潮堤において，歩行性能，防犯性能，地形や高台への避難誘導などを統合して低照度の照明計画を施した．そして防潮堤内から高台方向対象として，路面照度と視野全体の輝度分布を実測するとともに避難に関わる景観要素の視認性評価を行った．また低輝度レベルでの光環境を設定した上での調査を行い，災害発生時の視野内での景観要素のバランスを考慮した低輝度照明計画について考えた．その結果，路面照度が0.1 lx（全球平均輝度で0.1 cd/m^2）を下回っても，周囲の景観要素が把握でき空間認知が高まることで，安全に避難しやすくなることが確認できた．

電力が制限される災害発生時には必要な場所に必要な光を設け，最小限の光で最大限の効果を狙うことが重要である．照度基準に従った照明計画では，道路とその周辺での明暗対比が大きくなって視覚的に分断され，空間認知を阻害する危険がある．また省エネルギーの観点からみても高容量となりやすい．視野全体の輝度を抑えながら，空間認知を促進するために地形に合わせた光のリズムをつくり，坂道や階段などを可視化し，水面に光を反射し，経路を認識させることなどが，広いエリアを自らの判断で避難するのに役立つ．内湾周辺の建築（ムカエル，ウマレル），土木（防潮堤，内湾公園，

図7　内湾の水面に映り込むあかりの整備a

Fig. 7　Lighting installations that reflect in the inner bay water a.

図7　内湾の水面に映り込むあかりの整備b

Fig. 7　Lighting installations that reflect in the inner bay water b.

道路，遊歩道）のあかりを水面に映り込ませることで，その逆方向が高台への避難誘導を促進させた（図7）．夜間にも地形や空間的な特徴を把握することは，どこに避難することができるかという意識を日常化することにもつながり，さらに地域らしさや地形的財産を可視化する景観の向上にも結び付くだろう．

本研究での実測調査は，照明学会「災害に備えたレジリエントな屋外照明研究調査委員会」（委員長：小林茂雄）と連携して実施しました．また研究の一部は，科学研究費補助金（課題番号：22K04435代表：小林茂雄）の助成を受けています．ご協力いただいた皆様へ記して謝意を表します．

参考文献

1) 小林茂雄，角舘政英，阿部俊彦：宮城県気仙沼市における沿岸風景の可視化と避難方向の認識を両立する光環境の提案，日本建築学会技術報告集，第24巻，第56号，pp. 363–366, 2018.2.
2) 小林茂雄，角舘政英，阿部俊彦：宮城県気仙沼市八日町の街並み特有性と高台避難の向上を目指した光環境整備の提案，日本建築学会技術報告集，第24巻，第58号，pp. 1097–1100, 2018.10.
3) 阿部俊彦：気仙沼市内湾地区における防潮堤の計画とデザインの合意形成プロセス，土木学会論文集D1, 73(1), 37–51, 2017.
4) 高田亜沙里，永濱藍：「粘り強い話し合い」が行われた気仙沼市・内湾地区の防潮堤建設から考える公共事業の意思決定における市民の関わり方とは，決断科学．7, pp. 77–90, 2020.3.
5) 前博之，角舘政英，小林茂雄：夜間津波発生時の高台避難を支援する光環境整備計画—岩手県釜石市を対象として—，照明学会誌，Vol.97, No.11, pp. 721–727, 2013.11.
6) 小林茂雄，角舘政英：仮設建築群地域における避難誘導照明と屋外環境照明の整備—岩手県陸前高田市を対象として—，照明学会誌，Vol.99, No.2, pp. 67–73, 2015.2.
7) 小林茂雄，角舘政英：避難路確保と風景の継承を両立させた福島県久之浜町の夜間光環境整備の提案，日本建築学会技術報告集，第22巻，第52号，pp. 1169–1172, 2016.10.
8) 小林茂雄，角舘政英，西森陸雄：伊豆半島熱川温泉を対象とした地域観光と津波避難を両立させる夜間光環境の提案，日本建築学会技術報告集，第25巻，第59号，pp. 299–302, 2019.2.
9) ケヴィン・リンチ（丹下健三，富田玲子訳）：都市のイメージ（新装版），岩波書店，2007.

（受付日2022年9月26日／採録日2023年3月27日）

小林　茂雄（専門会員）
東京都市大学建築都市デザイン学部建築学科
〒158–8557　東京都世田谷区玉堤1–28–1
1991年東京工業大学工学部建築学科卒業．同大学院修了，博士（工学）．東京工業大学助手，武蔵工業大学講師・准教授を経て，現在，東京都市大学建築都市デザイン学部建築学科教授．

角舘　政英（正会員）
ぼんぼり光環境計画株式会社
〒162–0041　東京都新宿区早稲田鶴巻町567
日本大学理工学部建築学科卒業，同大学院修了，博士（工学）．一級建築士．現在，東京都市大学建築都市デザイン学部建築学科客員教授．

山口　秀樹（専門会員）
国土交通省国土技術政策総合研究所
〒305–0802　茨城県つくば市立原1
2005年立命館大学大学院理工学研究科博士課程後期課程修了．博士（工学）．現在，国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部 設備基準研究室長．