

停電を想定した住宅内での備蓄灯配置実験

EXPERIMENT ON EMERGENCY LIGHTING SETUP IN HOMES FOR POWER OUTAGES

小林茂雄 — * 1

キーワード:

停電, 暗闇, 非常灯, 備蓄品, 生活行動, 対人距離

Keywords:

Power outage, Darkness, Emergency light, Emergency supplies, Daily activities, Interpersonal distance

Shigeo KOBAYASHI — * 1

When a sudden power outage occurs at night, people must rely on emergency power sources or flashlights. In this experiment, emergency lights were placed in 157 rooms across 76 houses, and specific behaviors were evaluated after spending two hours there. In darkness ranging from 0.1 lux to 1 lux, tasks requiring detailed visual work or searching the surroundings became challenging. In some cases, these difficulties were alleviated by proper light placement and diffusion. Additionally, there was a tendency for people to gather closer together in dark environments.

1. 背景と目的

近年、自然災害による停電や避難所生活により、照明や電力の使用が一時的に制限される状況が多発している。台風、地震、洪水などの自然災害によって電線や送電・受電設備が損傷し、電力供給が滞ることがある。自然災害が頻発するだけでなく、電力需要の増加に対して供給が追いつかないことや、石炭や天然ガスなどの化石燃料の供給問題により電力供給が不安定になることもある。こうした電力供給の逼迫は、今後も続く予想されている¹⁾。

夜間の停電時には非常用の電源や、備蓄されている懐中電灯等を用いて生活することになる。照明の使用はできるだけ抑えなければならないが、こうした光の扱い方や極端な低照度環境に慣れている人は多くない。災害時の指針となる防災ガイドブック²⁾では、発災時の行動指針や被災後の暮らし方の工夫に関する記述はあるものの、停電時の照明の設置方法や夜間の生活行動の工夫についての記載がほとんどない。停電時の暗闇の中での限られた光においては、視認性や安全性の確保に困難が生じるだけでなく、心理的な不安も増強しやすい。長期にわたり避難生活を送る場合には、心理ストレスや精神疾患等の健康問題がみられ、心理面からも避難所の環境の改善が求められている³⁾。

本研究は、災害発生時など電力利用が制限された停電時を想定して、住宅内での生活行動を考慮しながら備蓄灯を配置し、そこで実際に過ごしてもらう実験を行う。住宅の室内照明に関しては、JIS 照度基準⁴⁾や既存研究⁵⁾で最適な照度が示されることが多い。しかし、ここでは最適な照明環境を求めるのではなく、限

られた光源をどのように空間に配置するかを実践的に検討することを目的としている。その中で、日常的な生活行動のしやすさを評価し、どの行動がどの程度やりにくくなるかを把握する。

住宅で極端に暗い環境を過ごす経験をするこも、この実験の目的の一つである。夜間の住宅照明が明るすぎると、サーカディアンリズムが乱れて睡眠を妨げることが知られている⁶⁾。低照度の光で何がどこまでできるかを把握することで、暗さに対する行動や心理的価値を理解することにつながると考えられる。また、暗闇の中で光を工夫して配置する体験を通じて、突然の停電時にもスムーズに低照度の光を扱えるようになることを目指している。

2. 実験概要

夜間に住宅内で停電が発生した状況を想定し、備蓄灯のみを用いて約2時間過ごしてもらう実験を行った。これは、セーフティネットとしての計画停電が通常1回あたり2時間程度であるためである。一つの部屋に懐中電灯、ランタン、キャンドルなど1~3灯を設置してもらった。このとき、部屋の構成や過ごし方を考慮し、最も効果的な光源の配置方法や光を遮蔽・拡散する材料を選定するように教示した。できるだけ少ない数の光源を使用することを前提とした。備蓄灯は乾電池などで点灯する人工光源や燃焼式のキャンドルであり、各灯の光束は10~100lm程度の小型のものである。キャンドルは約12lm、スマートフォンのライトは30~50lmであり、これらの光源の強さを基準とした。懐中電灯には明るさに幅があり、キャンプ用の屋外ランタンなどは300~1000lm程度の

* 1 東京都市大学建築都市デザイン学部建築学科 教授・博士 (工学)
(〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1)

* 1 Prof., Dept. of Architecture, Tokyo City Univ., Dr.Eng.

明るさのものもあるが、今回はこうした強い光源は用いていない。

実験の参加者は大学生とその家族の76の世帯である。2022年4月から7月に、日没後の19時から23時にかけて実施した。76名の大学生には、停電時の懐中電灯やランタンなどの使い方を事前に実物を見せて説明している。ペットボトルや乳白色のレジ袋を使って光を拡散する方法、アルミホイルで光を反射させて集める方法、ツナ缶などの空き缶にキャンドルを入れて安全性を高める方法などを紹介した。また、光源の高さを変えることで光の広がり方が異なることも説明している。76の住宅において、リビングルーム（ダイニングルーム含む）、キッチン、個室、トイレなど合計157の部屋に備蓄灯が設置された。既存の照明を完全に消灯した中で、一人または家族数人で2時間過ごしてもらった。その際、照明の配置と床面（または作業面）の照度、人が過ごしている位置を記録した。また、日常的な夜間照明時（以下、日常時）で

も、室内照明の配置と照度、人が主に過ごす位置を記録した。さらに、日常時と停電を想定した備蓄灯配置時（以下、停電時）のそれぞれで、その場所で想定される行動のしやすさを評価した。

3. 実験結果

3.1 照明設置の概要

図1に、ある住宅でのリビングルーム（以降、リビング）とキッチンにおける備蓄灯の設置例を示す。リビングではテーブルにキャンドルが置かれ、壁際の棚上にランタンが置かれている。4人の家族はキャンドルのあるテーブルに集まっている。キッチンでは、料理中の手元を明るくするために懐中電灯を用いている。配光が狭角すぎるために、アルミホイルによるランプシェードによって上向き光を反射して周囲に広げている。図2は他の住宅で設置された状況を示す。備蓄灯を点灯する際に

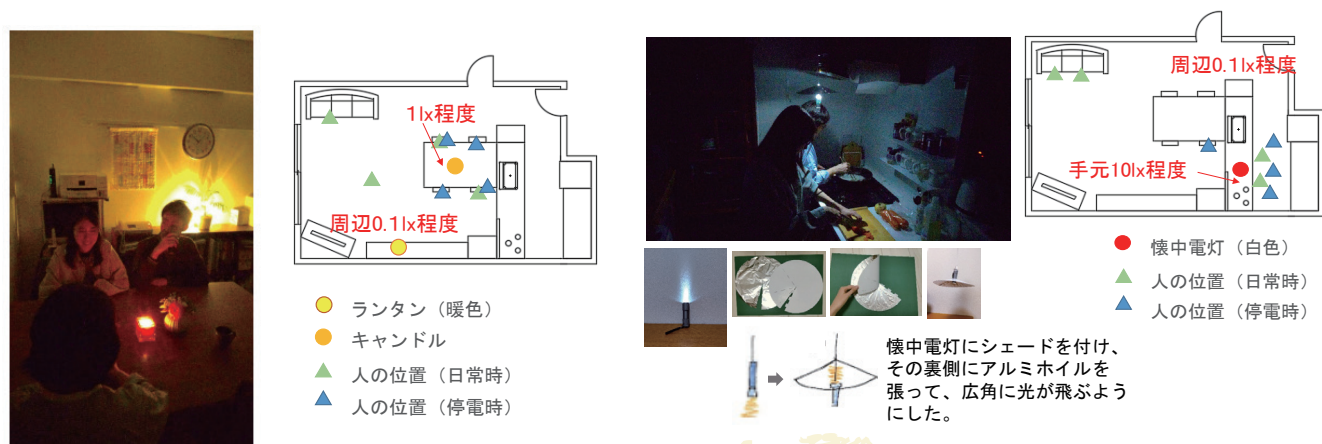
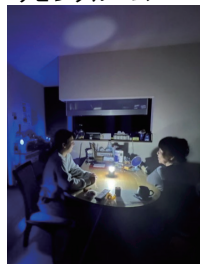


図1 ある住宅での停電想定時の備蓄灯配置の例（左：リビングルーム、右：キッチン）

リビングルーム



テーブルにランタン

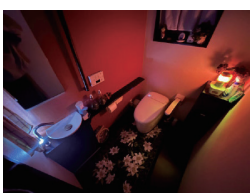
トイレ



懐中電灯を吊るす



ビニール袋ランタンを吊るす



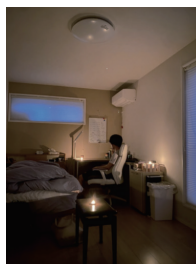
コーナーに分散配置

個室



机上にPETボトルランタン

洗面・浴室



壁・天井に間接光

キッチン

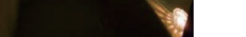


キッチン

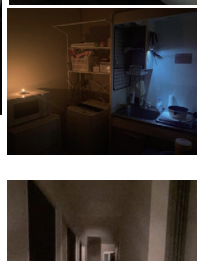
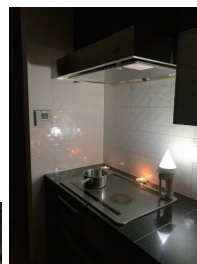


手元と足元

キッチン

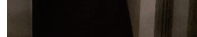


懐中電灯に紙の筒



懐中電灯に紙の筒

廊下



部屋入口足元にランタン

図2 備蓄灯設置の例

は、光を拡散させたり方向を変えたり、場所を移して配置したり、透過光に模様をつけたりする工夫がされている。空間の特徴や行動を考慮しながら光をアレンジしたことが記載されていた。

表1に、部屋別の光源数や光源種類、設置場所を集計した結果を示す。リビングとキッチン空間的には接続しているものが多いが、用途が異なるため別の部屋として集計している。一部屋当たりの光源個数は平均1.7灯であり、リビングや個室（寝室や勉強部屋）では2.0灯や1.8灯とやや多く、トイレや洗面・浴室では1.1灯や1.3灯とやや少ない。空間が広く行動内容が多岐にわたる場所で必要とされる数が多くなるものと考えられる。

光源については、ランタンが最も多く、その中でランタンをそのまま直に設置するもの（20%）以外に、PETボトルに水（11%）や牛乳などの乳白液体（14%）を入れて拡散するもの、ビニール袋や紙で覆って拡散するもの（5%）がみられた。懐中電灯は18%で、キャンドルは20%であった。これら以外の光源としては、電飾やスマートフォンのライトやケミカルライトなどが用いられた（12%）。部屋ごとの特徴として、個室ではランタンにPETボトルを組み合わせる例が少ない傾向がみられた。

光色は白色光が48%で、暖色光が25%、白色光と暖色光の組み合わせが15%である。それら以外の青色光や赤色光などカラフルなもののは11%であった。ランタンや懐中電灯は色温度5000K程度の白

色（昼白色）光の製品が最も普及しているためだと考えられる。色温度3000K以下の暖色光はキャンドルと一部のランタンでみられた。

光源の設置場所は、床では中央付近に置くもの（12%）以外に、出入口付近に配置したり（4%）、部屋の隅に配置したり（4%）するものがみられた。壁・窓は18%で、壁に掛けたり窓枠に設置されたりしている。天井は7%である。机・台は35%と最も多く、食事や勉強や料理用のテーブルに置くものである。リビングでは一灯がテーブルかその上の天井に設置されていた。棚はラックやスタンドなどの収納家具で、18%であった。天井や家具から空中に吊る例は2%であった。

図3は、小型ランタン（50lm）を机に置いた時と、ランタンと懐中電灯を吊ったときの照度分布を示している。光源直下やその付近が1ルクス程度で、水平で1m離れると0.1ルクス程度となる。JISにおける住宅の照度基準⁴⁾では、リビングの手元では150ルクス以上、キッチンの手元は200ルクス以上、廊下など歩行空間は30ルクス以上である。今回の実験の照度は日常時の100分の一程度の低さといえる。薄明視と呼ばれる視覚状態であり、物の形と色がおぼろげに認識できる程度の明るさである。

3.2 部屋別の行動のしやすさ

部屋ごとに事前に設定した行動について、日常時と停電想定時それぞれにおいて、「無理なくできる」「しにくいが許容範囲」「困難」の3段階で評価してもらった。各部屋については一人の家族が代表して

表1 停電想定時の部屋別の光源種類と配置

	室数	光源 個数 (平均)	滞在者 (室数)		光源							光色				設置場所								
			一人	複数人	ランタン				懐中電灯	キャンドル	その他	白色	暖色	白色と暖色	カラフル	床			壁・窓	天井	机・台	棚	吊る	
					直置き	PETボトル(水)	PETボトル(乳白)	ビニール袋・紙								中央	出入口	隅						
リビング	56	2.0	14	36	18	12	16	4	13	13	11	26	13	13	8	10	5	2	15	7	51	17	1	
個室	44	1.8	39	3	18	7	4	1	13	12	5	17	16	8	3	9	0	3	14	5	27	24	2	
キッチン	23	1.4	17	6	1	2	5	4	5	5	4	15	3	2	3	2	0	0	2	6	12	1	2	
トイレ	18	1.1	18	0	3	2	3	2	3	6	6	10	5	0	2	5	4	4	14	1	0	3	0	
洗面・浴室	9	1.3	8	1	2	1	2	0	2	5	0	6	2	1	2	1	0	1	3	0	6	3	0	
廊下	7	1.7	6	0	2	1	0	0	4	2	0	4	2	0	0	6	2	1	2	1	1	2	0	
合計	157	1.7	102	46	44	25	30	11	40	43	26	78	41	24	18	33	11	11	50	20	97	50	5	
比率	-	-	69%	31%	20%	11%	14%	5%	18%	20%	12%	48%	25%	15%	11%	12%	4%	4%	18%	7%	35%	18%	2%	

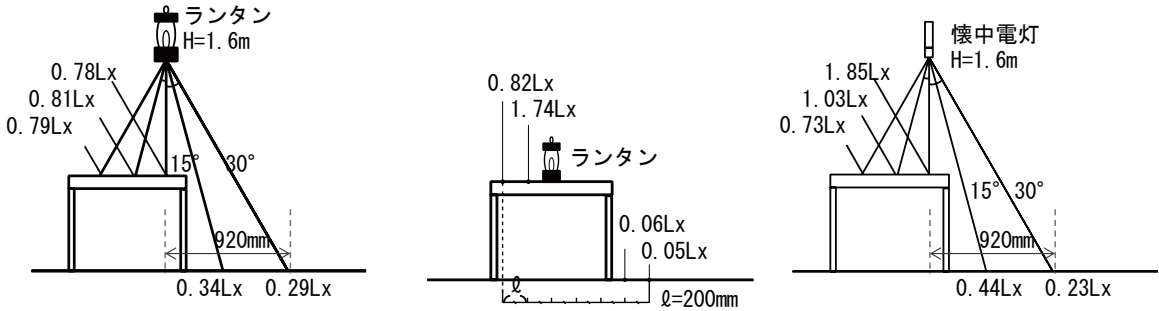


図3 備蓄灯設置時の照度分布の例

評価している。図4に結果を示す。リビングルームと個室では同じ行動項目を取り扱っているため、結果をまとめている。行動種類は、テーブル上の見え方を必要とするもの、周辺への視覚を必要とするもの、身体を動かすもの、視覚をあまり必要としないものなどにバリエーションを持たせた。日常時の照明環境では、「うたた寝」以外はほぼ「無理なくできる」と評価されている。停電を想定した光環境では、「う

たた寝」「音楽鑑賞」「会話」は過半数が「無理なくできる」と評価している。この他に、過半数が「しにくいが許容範囲」となるのは、「食事」「軽食」「着替え」「歩行」「ストレッチ」である。備蓄灯のうち一つはテーブル面を照射しているため、食事などの行動は許容範囲内で行えると考えられる。ただし食事に関しては、簡単に諦められない行為であり、通常と異なる食べやすい料理が選ばれた可能性もある。

「困難」が過半数となったのは、「勉強」「荷物の整理」「読書」「探し物」である。「勉強」「読書」は、視対象による差があり、発光する画面を見る際ではなく、紙面を見る場合に「困難」と評価された。「荷物の整理」「探し物」は、テーブル面以外の広い範囲に視線を向ける必要があり、日常時と同じようなやり方では難しくなると思われる。

キッチンについては、「軽食」「歩行」「会話」は日常時と比べて「無理なくできる」割合は低下しているが、全員が「しにくいが許容範囲」以上だと評価している。「料理」は「無理なくできる」が大きく下がるものの、「しにくいが許容範囲」を含めると過半数である。光量や照射範囲が限られているため、単純な料理はできても複雑な料理がしにくいなど、料理の仕方に影響を及ぼすものと考えられる。作業面以外に注意を向ける「探し物」は過半数が「困難」と評価された。

トイレにおける行動しやすさは、「排泄」は78%が「無理なくできる」か「しにくいが許容範囲」である一方、「歩行」と「探し物」は過半数が「困難」と評価された。洗面・浴室における行動しやすさは、「洗顔・洗髪」は「しにくいが許容範囲」が過半数であるものの、「身だしなみを整える」「探し物」は過半数が「困難」と評価された。廊下における行動しやすさは、「歩行」は過半数が「無理なくできる」とし「困難」と評価した人はいなかった。「探し物」は過半数が「困難」と評価された。

これらのことから、停電時には照度が大幅に下がり、細かな視作

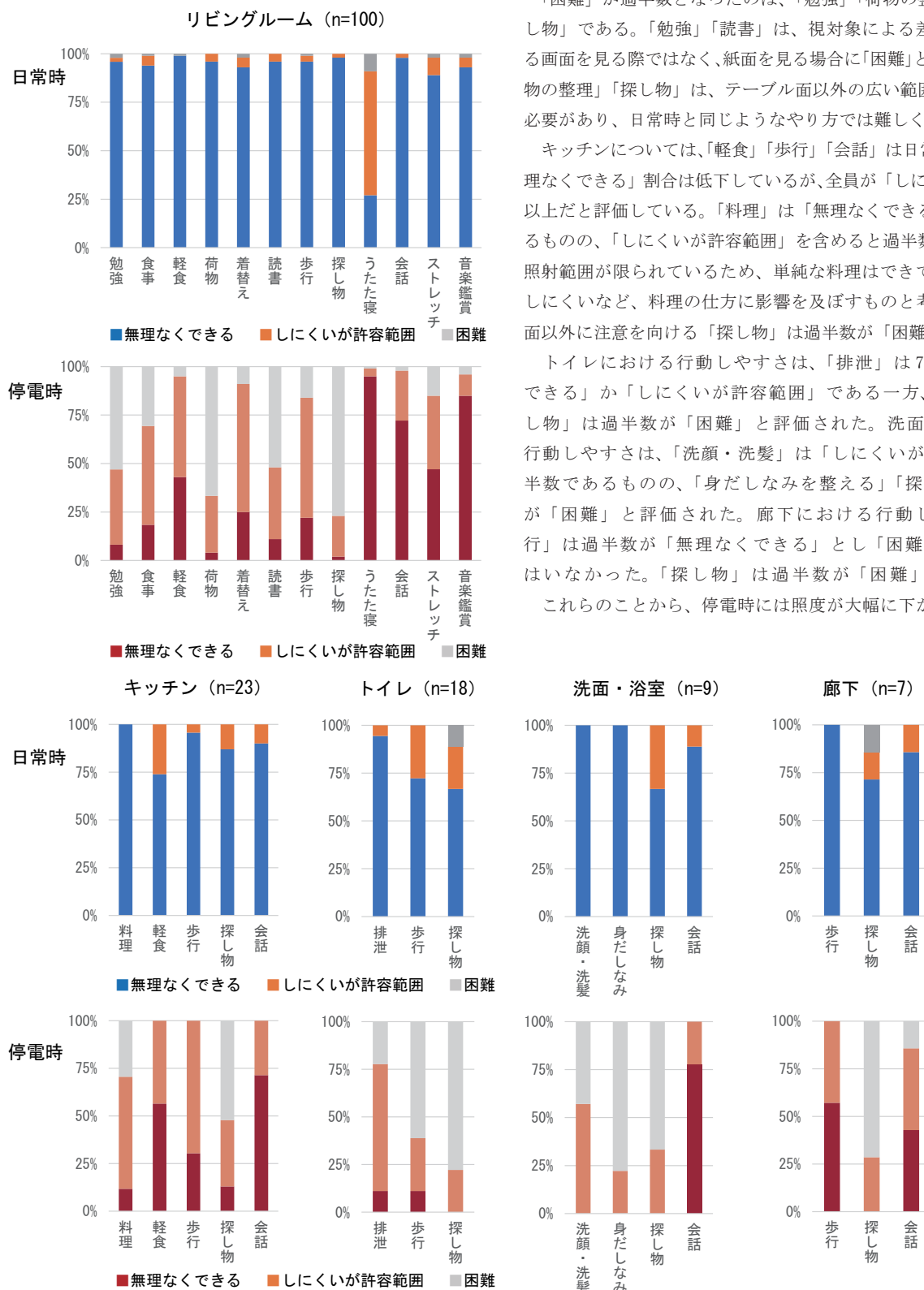


図4 日常時と停電想定時の行動しやすさ評価結果

業や周囲を探し回るような行動は困難になるが、日常生活の単純な行動はしにくくても許容範囲内にあるものが多いと考えられる。

3.3 光源配置方法と行動しやすさ

図5に、備蓄灯の主な種類と、光を空間にどう配置して拡散させるかを分類したものを示す。この中では、拡散（全般拡散）、間接光と拡散光の組み合わせ、直接光と拡散光の組み合わせが多くみられた。様々な行動がなされるリビングルームと個室において、停電想定時の行動しやすさと光源種類や設置場所、光の拡散方法・照明方法との関係を調べた。テーブル面や手元への見やすさが重視される「勉強」と「読書」、部屋周辺へ視線を向ける「着替え」と「ストレッチ」の4つの行動を例にとった。図6に、各行動のしやすさと、拡散方法、光源種類、光源設置場所、光色との関係を示している。「勉強」「読書」は座る位置と視点が固定する視作業である。両者

とも、懐中電灯などで作業スペースに当てる直接光と拡散光の組み合わせで、しやすさが相対的に高くなっている。また光源を天井に設置する場合も効果が高い。「勉強」は白色光で評価が高く暖色光で低くなっているが、「読書」は光色による違いはあまりみられない。高色温度の白色光は脳の覚醒水準が高くなりやすく⁷⁾、低色温度光は低くなりやすいという働きが関係しているものと考えられる。

「着替え」は、どの照明条件でも「困難」という評価はあまりなかった。その中でも、空間に光を拡散した条件で「無理なくできる」評価が相対的に高く、また天井に光源を設置したときにも効果が高い傾向にある。着替えはテーブルとは離れた位置で行われるため、そうした場所まで光が回り込み、広いエリアで物の形が分かる程度の視認性が確保されていることが重要ではないかと考えられる。リラックスしながら体をゆっくりと動かす「ストレッチ」も、



図5 備蓄灯の配置方法の分類

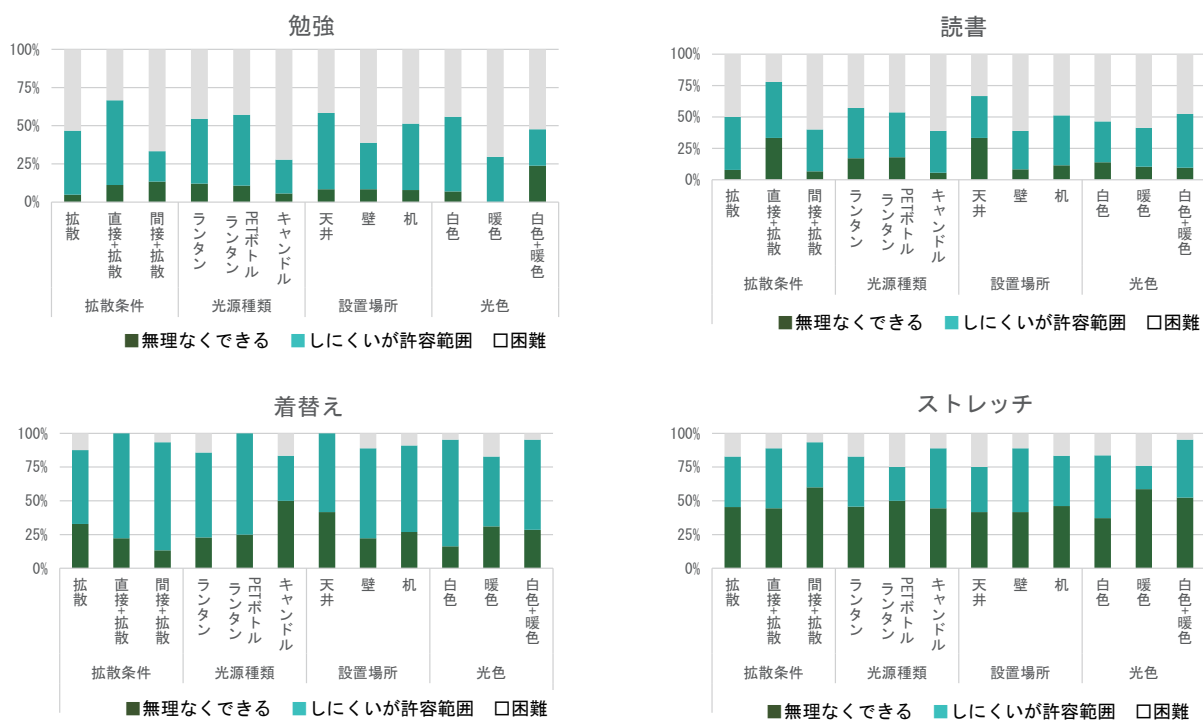


図6 光源配置方法と行動しやすさ

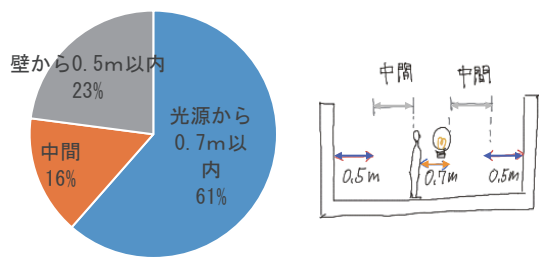


図7 停電時の光源と人の距離 (n=109)

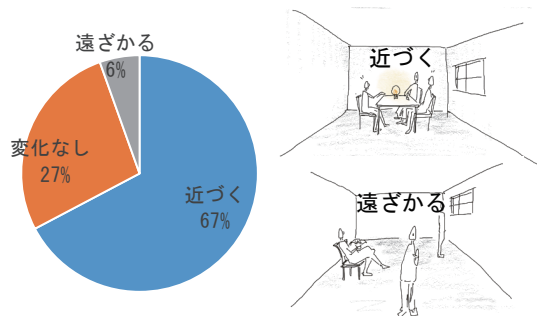


図8 日常時に対する停電時の人の距離の変化 (n=36)

「困難」という評価はあまりない。その中で、間接光と拡散光の組み合わせの条件や、暖色光のみを用いる条件で、「無理なくできる」評価が高くなっている。位置による違いはあまりみられない。床面が認識できる程度の視認性が確保できれば、部屋を柔らかく照らす照明条件が好まれるといえる。ストレッチは日常時よりも停電時の方が「無理なくできる」と評価されており、低照度と低色温度であることが重要だと考えられる。

3.4 光源と人の距離関係

停電時の光環境において、家族がどのような位置で過ごす傾向があるのかを調べた。複数人が同じ空間にいるリビングルームを対象として、平面図にプロットされた光源と人の位置から両者のおよその距離を求めた。ここでの光源は、テーブル上に設置された作業用のものとした。人の位置が判別できた109名を用いた。図7より、61%の人はテーブル上の光源から0.7m以内という手の届く範囲にいた。また壁から0.5m以内にいる人が23%であった。これらは壁沿いの椅子に座ったり、床に座って壁にもたれかかったりする人である。どちらにも属さない中間的な位置にいるのは16%であり、部屋の広さを考慮すると少数だといえる。光源の近くにいて視認性を確保するか、壁による安心感を確保しようとする傾向があるのではないかと考えられる。

またリビングルームにおいて、日常時と停電時の家族同士の距離がどう変化したかを調べた。複数人で過ごす位置がプロットされた36軒を対象にした。図8に、距離の変化を分類した結果を示す。日常時と比べて停電時には67%の場所で人々の距離が近づく傾向にあった。27%は対人距離に変化があるといえず、6%は逆に遠ざかる傾向があった。近づくのは人々がテーブル周りに集まるためであり、遠ざかるのは壁沿いへと移動する人がいるためである。ただし家族のうち一人はテーブル近くにいたため、全員が壁沿いに分散するという例はなかった。壁沿いに人がいるとしても、全体として近づいたとも遠ざかったとも判断できず、明確に遠ざかったのは2例だけであった。

暗い環境では視覚的な刺激が制限されるため、小さな光は貴重で周囲から目立つ存在となる。そのため、人々は見やすい場所に近づ

こうしたり、他の人々とのつながりを求めたり、暗闇の中で孤立した光に好奇心を刺激されて光の近くに集まる傾向があると考えられる。実際に近づいた人の記述からは、「意識はしなかったが自然と家族が集まった」「暗い中でコミュニケーションや共同作業量が増えた」「普段はしないような会話内容となった」などが得られた。低照度で対人距離が近づくことは、今回ほどの暗さではないものの、筆者による既往研究⁸⁾でも示されている。停電による暗い環境は不可抗力的に起こるものであるが、その一方で、人が集まりその関係を深めることに寄与する可能性があることも指摘しておきたい。

4. まとめ

本報では、76軒の住宅において停電時を想定した備蓄灯による照明計画を実施し、2時間程度過ごした後に行動のしやすさを評価した。1部屋あたり平均1.7灯が設置され、テーブル上の照度は約1ルクス、部屋全体は約0.1ルクスであった。限られた光では全体的に行動がしにくくなり、特に勉強や読書などの視作業や周囲を探し回するような行動が困難となった。しかし、食事や会話などの日常生活の単純な行動は、多少の不便さがあっても許容範囲内であった。光源の配置や光の拡散方法を工夫することで、行動のしやすさが向上することが示唆された。また、日常時と比べて停電想定時には67%の住宅で人々の距離が近づく傾向がみられた。

こうした備蓄灯による低照度照明計画を日常生活で体験することは、突発的な停電時にもスムーズに低照度環境に移行する準備になるだけでなく、暗さによるリラックス効果や対人コミュニケーションの向上を確認する機会ともなる。また、エネルギー削減に向けた行動や意識の向上にも寄与するものと考えられる。

謝辞 本研究は、東京都市大学建築学科卒論生の河合美音さんと共同で行いました。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。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 経済産業省：今後の電力需給運用について、2023.10
- 2) 東京都総務局総合防災部防災管理課：東京くらし防災、pp.4-161、2018
- 3) 秋月有紀：防災照明—Resilient Lighting、電気学会誌、141(4)、pp.215-218、2021
- 4) JIS Z9110:2010 照明基準総則
- 5) Youko INOUE and Haruyo OHNO: The survey on the illuminance in a house and the consciousness research on the resident's satisfaction, Journal of Architecture and Planning, 507, pp.1-5, 1998.5 (in Japanese)
井上容子、大野治代：室内照度ならびに居住者の明るさに対する満足度、日本建築学会計画系論文集、Vol.63(507)、pp.1-5、1998.5
- 6) 小林茂雄：在宅勤務時代の生活リズムを調整する照明環境、ビルと環境、175号、pp.40-48、2021.12
- 7) 岩切一幸、綿貫茂喜、安河内朗、桝原裕：光源色がその曝露中と曝露後にCNVの早期成分に及ぼす影響、日本生理人類学会誌、2、pp.31-37、1997
- 8) Shigeo KOBAYASHI and Keisuke YOSHIZAKI: The study about the choice of conversational position under non-uniform interior lighting, Journal of Architecture and Planning, 562, pp.83-88, 2002.12 (in Japanese)
小林茂雄、吉崎圭介：室内不均一照明下での会話者の位置選択に関する研究、日本建築学会計画系論文集、No.562、pp.83-88、2002.12

[2024年1月30日原稿受理 2024年5月14日採用決定]