1995年兵庫県南部地震に伴う 発光現象についてのアンケート調査

神戸大学理学部* 山口 寛

高知大学理学部** 村上 英記

京都大学防災研究所*** 大志 万直人

Questionnaire Survey on Luminous Phenomena Associated with the 1995 Hyogo-ken Nanbu (Kobe) Earthquake

Satoru YAMAGUCHI

Faculty of Science, Kobe University, Nada, Kobe, 657-8501, Japan

Hideki MURAKAMI

Faculty of Science, Kochi University, Kochi, 780-8520, Japan

Naoto OSHIMAN

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Uji, Kyoto, 611-0011, Japan

(Received December 12, 2000; Accepted May 25, 2001)

Many types of luminous phenomena were observed at the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake (Kobe earthquake) of January 17, 1995. A questionnaire survey was done regarding luminous phenomena in order to determine 1) spatial distribution of eyewitnesses of luminous phenomena; 2) origin-times and duration-times of the phenomena; 3) properties of lights, such as color, shape, and brightness.

Out of 798 people surveyed, 31 answerers (3.9% of the total) reported that they had observed luminous phenomena. Characteristics of the phenomena may be described as follows; a) More than 50% of the eyewitnesses were within 10 km of the epicenter of the main shock. b) Almost all observations of the phenomena occurred simultaneously, or at a maximum of 2-3 minutes from the arrival of the seismic wave to the eyewitnesses' location. c) The duration-time of the phenomena was less than 30 seconds. d) The gross form of luminescence was a belt of light or curtain shape. e) The colors of luminescence were white, blue, and orange, while blue-white was predominant.

Key words: 1995 Hyogo-ken Nanbu (Kobe) Earthquake, Luminous phenomena, Questionnaire survey.

§1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震の際には、さまざまな形態の発光現象が目撃され報告されている〔佃(1995a, b), Tsukuda(1997)〕. 本地震に限らず、大地震に伴う発光現象の事例が世界中で数多く報告されている〔武者(1931), 武者(1932), John(1973),

Tributch(1978)〕. 武者(1932)は、約1600例の発光現象に関する記録を収集し報告している. それによれば、日本最古の記録として「三代実録」の貞観十一年の三陸地震(869年7月13日)の記録までさかのぼることができる. 1930年の北伊豆地震に伴う発光現象については、詳細で数多くの目撃例が収集され系統的に分類されている〔武者(1931)〕. また、神沼・他(1973)の1872年から1972年までの地震カタログによれば北伊豆地震を含む15の地震に発光現象が伴ったとされている. 松

* 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1

** 〒780-8520 高知市曙町2-5-1

*** 〒611-0011 宇治市五ヶ庄

代群発地震(1965~1967)においては発光現象が写真撮影され報告されている[安井(1968)].

われわれは、1995年兵庫県南部地震に伴って生じたとされる発光現象について、その特徴(目撃者や発光源の空間分布、発光の発現時刻や継続時間といった時間に関する特徴、そして発光の形態や色など光の特徴)をより明らかにするために発光現象に関するアンケート調査を実施した。本論文では、そのアンケート調査の結果について報告する。

§2. 調査方法

本アンケート調査では、調査範囲を1995年兵庫県南部地震の震源断層を取り囲む地域(神戸市沿岸部・明石

市・播磨町および淡路島北部)とした。この範囲で空間的にできるだけ広く、また均一に情報を集めることに重きをおいた。具体的には、校区の空間分布が一様で偏りがないように公立中学校を30校選び、それぞれの中学校の学校長宛に、アンケート調査用紙を40部送付し回答を依頼した。その際、アンケートの趣旨や背景がよりうまく伝わるように、理科の教諭が担任するクラスの生徒か、理科関係のクラブに所属する生徒を回答者としてもらうように注釈を付けた。回答者は主として生徒であるが、保護者の回答も可とした。アンケートは1996年9月中旬に配布し、同年10月末に回収を終えた。

24校(Fig. 1 A~X)から回答(回答総数798件)が得られた。このうち、明らかに配布した中学校の校区外で

Fig. 1. Distribution of respondents and eyewitnesses. A-X indicate locations of junior high schools where questionnaires were sent. Sizes of rectangles are proportionate to the numbers of answers. Red circles indicate eyewitnesses of luminous phenomena (Direct Witnesses). Open circles indicate eyewitnesses who did not observe luminous phenomena, but were acquainted with Direct Witnesses (Indirect Witnesses). Double circles indicate locations of Direct Witnesses who were not in the area of junior high school where the earthquake was occurred. Blue and green circles indicate respondents who, given their location at the time of the earthquake could have observed the luminous phenomena, but apparently did not (Possible Witnesses). Possible Witnesses who were outdoors, surrounded by open spaces, are represented by open spaces, while Possible Witnesses who were inside of their houses, but could see outside through a window, are represented by blue circles.

目撃したという回答が3件あった (Fig. 1 の◎). 重要と思われる情報については, 回答内容の確認と追加の質問を行うための手紙 (6件) を2度にわたって送付し, 2件の回答を得た.

§3. 結 果

この論文で扱う「発光現象」は, 文字どおり光が放たれる現象を取り扱う. したがって, 「空の色が異常であった」という回答は発光現象として取り扱うが, 「異常な雲を見た」という回答 (2件) は含めないものとする.

アンケート調査の結果を, 目撃者の空間分布, 発光現象の発現時刻・継続時間, 発光の特徴の3項目に分けて示す.

3.1 目撃者の空間分布

学校別回答数を Table 1 に示す. 「近所の人や友人のなかで, 発光現象を目撃した人がある, またはそのような話を聞いたことがある」といった情報 (間接目撃情報) は, 112件 (回答総数の14%) あり, 調査対象地域の西端に位置する1校 (Fig. 1 のS) を除いて, すべての学校から寄せられている.

現時点では発光のメカニズムは未知である. しかし, どのようなメカニズムであれ, 光を生じる機構・反応が起こっている領域があるはずである. そのような場所を

「発光源」と呼ぶ. それに対して, 上記で定義した発光源を直接に見ていなくても (発光源以外の方向を見ていた場合や, 発光源と目撃者の間に遮蔽物があった場合など), そこから放たれる光は反射や屈折により認識できる場合がある. 本人が直接に, 発光源または, そこから放たれる光を目撃したと思われる情報 (直接目撃情報) は31件 (回答総数の3.9%) あった. このうち, 発光源を目撃した回答は4件 (回答総数の0.5%) であった. 直接目撃情報の空間分布は様ではない. 調査地域全体の平均目撃率より2倍以上多い回答を神戸市東部の1校 (A) と西部の2校 (J, K) および淡路島東部の1校 (U) から得た. 一方, 平均目撃率よりも少ない回答は, 明石市・播磨町の4校 (S, P, Q, R), 神戸市中央部の5校 (C, D, E, F, H), および淡路島北部の3校 (T, V, W) から得られている (Fig. 1).

目撃していないという回答が大多数を占めているが, このうち, 地震発生時に (a) 「屋外にいた人」または, (b) 「カーテンを開けたまま」の状態, 「屋外が見える部屋」から, 「地震で揺れたときあるいはその直後」に「周囲 (屋外) を見た人」を, 発光現象をみても不思議がなかった人と定義する. (a) の条件を満たす人は3名, (b) の条件を満たす人は50名であった (今後, これらの人を可能性のある未目撃者と呼ぶ). その分布も Fig. 1 (緑丸・

Table 1. Numbers of answers from junior high schools.

学校記号	回答総数	発光源の 目撃数	割合(%)	直接目撃 情報数	割合(%)	間接目撃 情報数	割合(%)	直接・間接 目撃情報数	割合(%)
A	38	1	2.6	5	13.2	9	23.7	14	36.8
B	32	0	0.0	1	3.1	6	18.8	7	21.9
C	36	0	0.0	0	0.0	9	25.0	9	25.0
D	41	0	0.0	0	0.0	7	17.1	7	17.1
E	40	0	0.0	0	0.0	6	15.0	6	15.0
F	32	0	0.0	1	3.1	4	12.5	5	15.6
G	33	0	0.0	3	9.1	3	9.1	6	18.2
H	38	0	0.0	0	0.0	3	7.9	3	7.9
I	13	0	0.0	1	7.7	0	0.0	1	7.7
J	32	1	3.1	5	15.6	5	15.6	10	31.3
K	26	0	0.0	3	11.5	4	15.4	7	26.9
L	37	0	0.0	0	0.0	3	8.1	3	8.1
M	38	0	0.0	1	2.6	7	18.4	8	21.1
N	36	0	0.0	1	2.8	4	11.1	5	13.9
O	40	1	2.5	2	5.0	4	10.0	6	15.0
P	36	0	0.0	0	0.0	4	11.1	4	11.1
Q	34	0	0.0	1	2.9	1	2.9	2	5.9
R	31	0	0.0	1	3.2	5	16.1	6	19.4
S	19	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
T	37	0	0.0	1	2.7	6	16.2	7	18.9
U	34	1	2.9	3	8.8	3	8.8	6	17.6
V	26	0	0.0	1	3.8	8	30.8	9	34.6
W	33	0	0.0	0	0.0	4	12.1	4	12.1
X	36	0	0.0	1	2.8	7	19.4	8	22.2
合計	798	4	0.5	31	3.9	112	14.0	143	17.9

青丸)に示す。

3.2 発光現象の発現時刻・継続時間

3.2.1 発現時刻

目撃した日や時刻の記入があった回答は、直接目撃情報(31件)のうち28件であった。「地震発生日の前日」または「数日後」がそれぞれ1件であるのに対して、「地震発生日当日」が26件(93%)と圧倒的に多い(Fig. 2)。現象の発現時刻については、「目撃地点への地震動到達時刻より数分以上前」という回答が1件、「地震動が収まって以降」が3件であるのに対して、22件(85%)が「地震動到達の前後数分間」に集中している(Fig. 3)。

地震動到達時刻と発光現象の発現時刻の前後関係が読み取れるコメントを以下に示す。各コメントの前の記号は、アルファベットが中学校(Fig. 1およびTable 1のアルファベットと対応する)を、数字は学校ごとの整理番号を示している。

a. 地震動の到着前

A-5の例：発光現象直後にゴーという音(阪急電車が

急接近するような音)。

G-3の例：寝ていて音がドーンと聞こえたので目を覚ましたら、光が一瞬走って、それからゴーという音と揺れがきた。

K-2の例：一瞬空が明るく光ったかと思うと地鳴りがして、揺れ始めた。

O-1の例：上空太く帯状に光っていて、外がとても明るい。停電をしていたが、家の中まで明るかった。その後地震が来た。

b. 地震動と同時に

A-2の例：自転車で北方向に走っていた時、初めに小さな縦ゆれがあり、その後に、大地がうねるように動いたとき、空が明るくなった。

K-3の例：揺れている最中に目の前の空が青白くなった(朝早かったので、まだ外は暗い)。

U-3の例：揺れたと同時にゴォーとなり目の前が真っ青に光りだし揺れ終わると同時に音と光が消えた。

3.2.2 継続時間

地震発生日の直接目撃情報の内、継続時間の判定ができた回答は19件であった(Fig. 4)。これらの回答を分類すると、「一瞬~数十秒」という回答が16件(84%)と多数を占める。この他の2件は「1分以上」であった。「数時間以上」という回答も1件あるが、これらは「空中や雲が光った」と述べており、他の目撃回答から推定される発光像と大きく異なる。ほとんどの回答者は厳密に継続時間を計っていたわけではなく、各人の感覚による時間である。光の継続時間が読み取れるコメントのいくつかを、継続時間の項目に対する回答とともに示す。

a. 継続時間が短い瞬間的な光

G-3の例：光が一瞬走って、それからゴーという音と

Fig. 2. Distribution of observation dates.

Fig. 3. Distribution of origin times of luminous phenomena. Only observations on January 17 are shown.

Fig. 4. Distribution of duration times of luminous phenomena. Only observations on January 17 are shown.

揺れがきた。[一瞬]

K-2 の例：一瞬空が明るく光ったかと思うと地鳴りがして、揺れ始めた。[一瞬]

b. 数秒もしくはそれ以上の継続時間がある光

A-2 の例：大地がうねるように動いたとき、空が明るくなった。特に南の空が明るくなったような気がした。その後、真っ暗になった。[数十秒]

A-4 の例：地震で雨戸が外れその間からカーテン越しに部屋の様子が分かるくらい明るく感じた。すぐに暗くなったので手探りをしなければ何も見えなくなった。[数秒]

U-3 の例：揺れたと同時にゴォーとなり目の前が真っ青に光りだし揺れ終わると同時に音と光が消えた。[数十秒]

3.3 発光の特徴

3.3.1 形状

光の形状が読み取れる回答は 21 件あった。その回答を分類すると明確な形をもつものが 4 件（細長い帯状・地面から立ち上る幕(霧)状）とそれ以外のもの 17 件に分類できる (Fig. 5)。発光源の形状が読み取れるコメントを以下に示す。

a. 細長い光の帯状

A-3 の例（屋外・車を運転中の目撃）：六甲アイランド付近の東西に広がる細い光の帯。（明るさは）稲妻程度の帯状の光。

J-1 の例（屋内から透明ガラス越しの目撃）：長田地区上空で広く広がった細い光の帯。

O-1 の例（屋内から透明ガラス越しの目撃）：雨戸の隙間を横切るように見えた。上空太く帯状に光っていて、外がとても明るい。

b. 地面から立ち上る幕(霧)状

U-3 の例（屋内から透明ガラス越しの目撃）：目の前 25～30 m ぐらい前が、幅広く光っていた。

3.3.2 色

光の色については 24 件の回答があった。目撃された色を、地震発生日とその日以外に分けて示す (Table 2)。地震発生日時刻前後では青色および白っぽい色が卓越しており、それ以外の目撃例では赤色または黄色が多い。これらの回答のうち、地震動到着前後数分間の目撃でさらに目撃地点が特定できたものの分布を Fig. 6 に示す。回答数が多い青～白っぽい色およびそれ以外の色も系統的に分布しているようには見えない。

3.3.3 明るさ

発光の明るさが読み取れる回答は 18 件あった。地震発生日以外の目撃例 2 件では「それほど明るくない」や「ぼんやりとした光」といったコメントがある。一方地震

Fig. 5. Shape of luminescence. Only observations on January 17 are shown.

Table 2. Color of luminescence.

目撃した日		色	件数
地震発生日より前		紫がかった赤	1 件
地震発生日	地震発生前後数分以内	黄がかった赤	1 件
		赤と黄の間	1 件
		赤みがかった青	1 件 (1 件)
		緑がかった青	2 件
		青っぽい光	5 件 (1 件)
		青と白の間	2 件
		白っぽい色	6 件
	地震発生の数時間以上後	赤と黄の間	2 件
地震発生日より後		赤と黄の間	1 件

() 内は、目撃地点が明確でない回答を外数で示す

Fig. 6. Distribution of colors of luminescence. Stars indicate the instances in which luminous sources were observed, and circles indicate the instances in which luminescence were observed. The directions of symbols (stars and circles) to solid circles are same as the directions of luminescence from Direct Witnesses.

Fig. 7. Distribution of eyewitnesses and direction of luminous sources in Mikage area. Stars indicate the locations of Direct Witnesses. Solid circles with open circles indicate Direct Witnesses who observed luminous phenomena outdoors. Arrows indicate the direction of luminescence; black heads indicate a more reliable observation than do the white heads.

発生日の目撃例（16件）では、「まぶしいくらい」・「かなり明るい」など強い光であったことを示す回答が11件ある。これらは日の出前の暗闇で目撃しており、昼間に光を見た場合よりも明るく感じられることを考慮に入れても相当に明るい光であったと考えられる。明るさの程度が読み取れるコメントを以下に示す。

A-1の例：停電して暗いはずなのに窓越しの明かりでつまずかずに隣の子供の部屋に行けた。

A-4の例：真っ暗な部屋で子供の寝顔がわかった。地震で雨戸が外れその間からカーテン越しに部屋の様子がわかるくらい明るく感じた。すぐに暗くなったので手探りをしなければ何も見えなくなった。

G-1の例：激しい揺れで目が覚めて、雨戸がとんで、窓の外が明るいと思ったが、その後すぐに暗くなったので、一時的な光だと後でわかった。窓の外全体、部屋の内まで明るかった。

O-1の例：上空太く帯状に光っていて、外がとても明るい。停電をしていたが、家の中まで明るかった。

3.4 直接目撃情報の詳細

直接目撃情報は地理的に近い7つのグループに分けることができる。グループごとに発光の様子を詳しく述べる。

[1] 神戸市灘区東部から東灘区西部

この地区では6件の目撃報告（A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, B-1: Fig. 7）がある。目撃情報により2方向の発光

源が推定される。一つはA-2とA-3から推定される六甲アイランド付近の発光源である。もう一つはA-1とA-5から推定される灘区の発光源である。

A-3は六甲山の麓から、「地震発生の直前」に、「六甲アイランド付近に東西に幅数百mにわたる細い光の帯」を目撃している。高さは「阪神高速道路湾岸線の上あたり」であり、「一瞬の稲妻程度の明るさの光で、色は緑がかった青」と回答している。阪急御影駅近くに、この回答と共通点が多い回答A-2がある。A-2は、A-3の南東約2.5kmで、高度はA-3より約200m低い位置にある。A-2の南側には建物があり、低い高度の視界はさえぎられ阪神高速道路湾岸線はみえない。「地上から空に広がった光。空全体が明るくなった。」と述べており、車のライトが局所的に雲にあたったような光ではなく、ある程度広がりをもった光であったと推定される。また、「自転車で北方向に走っていたとき、はじめに小さな縦揺れがあり、その後に大地がうねるように動いたとき空が明るくなった。特に南の空が明るくなったような気がした。その後、真っ暗になった」と述べており、地震動の最中に現象を目撃していることがわかる。

この二つの直接目撃情報は同じ発光源を目撃していたと判断した。光の形状の違いは発光源を直接目撃した(A-3)か、発光源は見えなかったが、そこから広がる光を目撃したか(A-2)の違いであろう。次に、発現時刻の違いは、次のように説明される。震央とA-2・A-3の間

の距離は、ほぼ等しく約23kmであり、震央と六甲アイランド北岸の間はそれよりやや短く約22kmである。地震動は、A-2とA-3にほぼ同時刻に到着していると予想される。六甲アイランド付近で放たれた光も両地点に同時に到着しているはずである。したがって、両者の目撃時刻は同じであったと推定される。A-2は、自転車に乗っているときの目撃であるので、地震動が到着すると直ちに感じるであろう。一方、A-3は、自動車運転中の目撃であり、初動のような小さな揺れは感じにくい、さらに、発光源を直接目撃しているので、注意がそちらに行き地震動を感じることに遅れた可能性が高い。したがって、A-3の目撃時刻も地震動到着の直前よりも、揺れている最中と解釈する方が自然であろう。

この地区では、上記のものとは異なる発光源の存在を示唆する報告もある。阪急御影駅近くのA-1(A-2の南400~500m)からは「揺れている最中」に「西の空全体が白っぽく光った」という回答が得られている。また、阪急御影駅の西北西7~8kmの路上では、「青っぽい閃光」で、「南西方向の空一帯が明るくなった」という回答(A-5)が得られている。これらの回答はA-2やA-3と異なり、西~南西方向に光を目撃している。この地区の西側にもう一つの発光源があった可能性も考えられる。

これら以外の情報は、発光源の方向が不明であるが、発現時刻がA-1、A-2、A-3、A-5と共通している回答が2件(A-4とB-1)がある。A-4(A-2の南西約400m)

Fig. 8. Distribution of Direct Witnesses and direction of luminescence in the entire surveyed area. Stars indicate the locations of Direct Witnesses. Solid circles with open circles indicate Direct Witnesses who observed luminous phenomena outdoors. Arrows indicate the direction of luminescence; black heads indicate a more reliable observation than do the white heads. A cross indicates the epicenter of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake.

では「縦揺れと横揺れの間の数秒に明るくなった」と回答している。B-1 は「地震の最中に、白っぽい光」を目撃している。

[2] 長田区を目撃例

この地区では、発光源を直接目撃した回答 (J-1: Fig. 8) がある。兵庫区にある神戸中央市場から、「屋内から透明ガラス越し」の目撃である。発現時刻は「地震動の最中」で、継続時間は「数秒程度」であった。「長田地区上空に幅広く (数百 m) 広がった細い光の帯であり、色は赤と黄色の間」であった。同地区では大きな火災があったが、回答文中に「長田地区の火事も良く見えた」との記述があり、回答者が発光現象の光と火災の炎を区別していると判断できる。

[3] 須磨区西部

ここでは3件の直接目撃情報 (G-1, G-2, G-3: Fig. 8) がある。G-3 は、須磨区高倉台8丁目から「淡路島方向に白っぽい閃光」を「屋内からすりガラス越し」に目撃している。この閃光は「一瞬」であった。また「雷光とは異なり蛍光灯を点灯する時のぼやとした光が続いた」ことも記述している。G-1 は、G-3 の南東約 1.5 km に位置し、「屋内からのすりガラス越し」の目撃である。方向についての記述はなく「空全体」と述べている。継続時間は「窓の外が明るいと思ったが、すぐ暗くなった」と表現している。G-2 は「屋内からすりガラス越し」の目撃である。方向は「南」と述べている。「色は青っぽい色で、月明かりの程度の明るさ」と述べている。ただし、この回答は、回答者自身の目撃情報ではなく、回答者の兄が目撃した情報である。

[4] 垂水区

ここでは2件の目撃報告 (K-1, K-3: Fig. 8) がある。K-3 は舞子墓園の近くの「屋外」での目撃報告である。「揺れている最中に西の空全体が青白く光った。明るかった。」と記述している。発現時刻は「揺れている最中」で継続時間は「数秒」である。K-1 は、K-3 の南西約 1 km に位置している。ここでは「屋内からすりガラス越し」の目撃ではあるが、継続時間が K-3 と同じく「数秒」と答えている。K-1 にはこれ以上の詳しい記述はない。これら2件の目撃は、両者の距離が近いことおよび発光の様子が似ていることから、同じ発光源を見ている可能性が高い。

[5] 明石市付近

ここでは、発光源を直接目撃した回答 (O-1) とその他に2件の直接目撃情報 (O-2, N-1) がある (Fig. 8)。O-1 は、「屋内から透明ガラス越し」の目撃である。発現は「地震の直前」である。その様子を「上空太く、带状に光って外がとても明るかった。雨戸の隙間を横切るよう

に見えた。停電をしていたが^{注1)}、家の中まで明るかった。その後、地震がきた。」と記述している。

N-1 と O-2 は直接に発光源を目撃したという回答ではないが、現象の特徴が似ている。両者は約 500 m 離れている。発現時刻は共に、「揺れている最中」であり、継続時間は「1 分以上」と答えている。O-2 は、「屋内から透明ガラス越し」に目撃しており、「空全体に広がった光。窓の外すぐそこに見えた。色は白っぽくまぶしいくらいの光」と記述している。一方、N-1 は、「屋内からすりガラス越し」の目撃報告であり、「雷の稲妻のような光」と答えている。この回答はすりガラス越しの目撃であるので、光の形状を明確に認識することはできないであろう。むしろ光が稲妻のように白っぽく、閃光状であったことを示していると解釈でき、これらは O-2 と共通している。両者とも発光源の方向については回答していない。

[6] 西区北別府付近

この地区では1件 (J-3: Fig. 8) の直接目撃情報がある。「屋内から透明窓ガラス越し」の目撃である。「西側の向いの屋根の上一面に青っぽい閃光」が目撃されている。光り方および明るさについては、「雷の閃光とは違うが、同じように (それ以上だったと思う)」と記述している。現象の発現時刻は「地震最中 (40 秒) または直後 (激震の直後~15 秒後?)」であり、継続時間は「一瞬」と答えている。

[7] 明石市大久保町付近

ここでは、1件の直接目撃報告 (K-2: Fig. 8) がある。屋外での目撃である。「北方向の空全体が、白っぽく明るく光った」と述べている。発現時刻については、「アパートの軒下でラジオ体操をしていたとき、一瞬空が明るく光ったと思うと、地鳴りがして揺れ始めた。」と述べている。この事例については、現地で目撃者と面談調査を行うことができた。その結果、以下の3点が新たに確認された。(1) ラジオ体操はNHKのラジオ放送 (午前6時30分) にあわせて行ったのではない。(2) 地鳴りは東方向から近づいてきた。(3) 4階建て建物のすぐ北側で目撃しており、南方向への低い高度の視界は遮られているが、残り3方向の視界は広がっている。この回答では「北方向の空全体が白っぽく光った」とあるが、南側の視界が建物により制限されているので、発光源が北側に特定されているわけではなく、他の方向から広範囲に広がった光を目撃したという場合も考えられる。

[8] 淡路島地区

^{注1)} 地震動よりも前に停電していたとは考えにくく、この記述は部屋の中が暗かったと解釈される。

ここでの直接目撃情報のうち、目撃地点が特定できているのは2件(U-2, U-3: Fig. 8)である。どちらも発光源を直接に目撃している。

東浦町谷地区での目撃報告(U-3)では「家の中から透明な窓ガラス越し」に南西方向に発光現象を目撃している。「目の前、25~30 m ぐらい前が幅広く光っていた。揺れたと同時に、ゴォーと鳴り、目前が真っ青に光だし、揺れが終わると同時に音と光が消えた。」と報告している。発現時刻は「ゆれ始めると同時」で継続時間は「地震動の継続時間と同じ程度」。光は「青白く幅 20~30 m, 高さ 20~30 m の幕状」と述べている。明るさは「テレビで見るオーロラ程度」と述べている。この事例についても、現地で目撃者と面談調査を行うことができた。その結果、目撃した方向は $240 \pm 20^\circ$ (北から時計回り)、発光源は「幕状というより、もっと奥行きがあるように感じた」と述べている。また、光源は「高くなるほど淡くなり、上端は 30~40 m 離れた電灯線の高さ程度であった」と述べている。さらに、明るさについても「障子を閉めていても部屋の中が見渡せた」と述べていることから考えて「テレビで見るオーロラ程度」という言葉から予想されるよりも、かなり明るかったと推測される。アンケートの回答では揺れると同時に光り出しとあったが、面談調査した結果では、寝ているときには障子が閉まっていた、揺れで目が覚め外を見たときに光を目撃したとわかった。また、この事例は、本人以外の家族(3名)によっても目撃されている。

同じ東浦町では、「屋内からの透明ガラス越しに、赤と黄色の間(黄色より)の光が空に広がっている」様子が目撃されている(U-2)。発現時刻は、地震動の「直前」で継続時間は「数秒」と述べている。方向は東であり U-3 と違う方向である。また、光り方も大きく違うので、異なった発光源であろう。

§ 4. 考 察

4.1 目撃情報の信憑性

地震に伴う発光現象と誤認されやすい原因として、太陽・月の光、雷光、商業電線のスパークが挙げられる。

a. 太陽・月

1995年兵庫県南部地震発生日の日の出は7時8分である。また地震発生日の太陽の高度は -13.5° 、方向は 101.5° で、神戸市付近からは見えず、雲間から見えた太陽の光を誤認した可能性はない。一方、この日の正午月齢は15.7で、月の入りは6時52分、方向は 289° であったので、西の空低くに月の光が残っていたが、アンケートの回答から読み取れる発光の様子や短い継続時間(長くて1分程度)を考えると、月光の誤認の可能

性も低い。同じ理由で天文薄明の誤認である可能性もないといえよう。

b. 雷

神戸海洋気象台で記載されている地上気象観測原簿によれば、地震発生日(1995年1月17日)当日および前日に雷発生の記録はない。また、16日21時、17日9時の地上天気図を見ても西日本付近に前線は存在しておらず、雷は発生していないと思われる。

c. 電線間のスパーク

大きな地震動によって電線が揺れ、電線間でスパークが生じた可能性を考える。通常、電線はゴムで覆われており、スパークそのものの可能性は低い。仮にスパークしても、その瞬間に電線への電力供給が停止するシステムなので、少なくとも数秒から数十秒といった長い時間のスパークは考えにくい。地震被害のためにスパークした時間や場所についての詳細な記録は得られなかった(関西電力神戸支店支店長室 私信)。

上記のa~cのいずれかを原因とする光とアンケートの回答内容から推測される発光の姿は整合的ではなく、アンケート回答者が目撃した光は、人工的な物ではないと判断される。

4.2 発光源の特徴

4.2.1 発現時刻

発光現象の発現時刻は、地震発生の前後数分間に集中している(地震発生日の目撃情報の85%)。の中には、「地震動到達前数分以内」という回答が2件、「直前」という回答が5件(A-3, A-5, K-2, O-1, U-2)あった。U-2は室内からの目撃例である。A-5, K-2は屋外での目撃例であり、A-3, O-1は発光源を直接目撃している。後者4件は、地震動到達時刻には、すでに目を覚ましていて、発光があればただちに気づく状態にあった者の回答である。目撃時刻が「直前」であることが、必ずしも、発光が地震発生以前に生じていることを意味しない。いま、ある地点で、地震動到達とほぼ同時に、発光が生じたと仮定する。発光源からでた光が目撃地点に届くまでの時間は無視できる。発光の目撃時刻と地震動の到着時刻の前後関係は、震央と発光源の間の距離(L_s)および震央と目撃地点の間の距離(L_o)によって決まる。ただし、 L_s と L_o が大きく異なる場合は、必ずしも成立しない。

$L_s < L_o$ の時は、目撃地点に地震動が到達する以前に発光が目撃されることになり、 $L_s \approx L_o$ のときは、ほぼ同時に、 $L_s > L_o$ のときは、目撃地点に地震動が到達してから発光が目撃される。例えば、O-1の例では、この目撃に対応する発光源の位置は特定できていないが、後で述べるように震央付近である可能性が高い。もしそうならば、O-1と発光源の距離は7.5 kmである。地震波

(P波)の速度を毎秒5 km とすると、O-1に地震動が到着するまでに1.5秒かかり、この時間だけ早く発光が目撃されることになる。

地震動到達の数分以上前に発光を目撃した回答が2件(M-1, X-1)がある。この場合には上で述べた議論では時間のずれを説明できない。しかし、どちらも目撃場所が未記入であるのでこれ以上詳しい議論はできない。

4.2.2 継続時間

発光現象の継続時間は、18件中16件が一瞬～数十秒と答えている。アンケートの回答中に地震動が収まってからも発光が続いた事を示すコメントはない。神戸海洋気象台の強震動記録によると、地震動継続時間は20～30秒であった。この地震動継続時間を超えて、発光が継続したというコメントがない点も考慮に入れると、本地震に伴う発光の継続時間は長くても30秒程度であったと結論される。残り2件(N-1, O-2)は、継続時間が1分以上と答えている。もし地震発生と同時に発光が生じ、その光が1分以上継続したとすると、地震動が収まってからも発光が続いていたはずであるが、そのような事実を示すコメントはなく、実際の継続時間は1分以内の可能性が高い。しかし、この2件の情報は互いに近接(約500 m)しているが、校区が異なっているので独立した情報と考えられる。この2件については上記16件と異なるタイプの発光現象である可能性も残されている。

Fig. 9. Correlation between numbers of the Direct Witnesses and the Possible Witnesses. Size of the squares is proportionate to the number of areas (white numerals in the squares). Broken line shows the maximum numbers of Direct Witnesses in each area.

4.3 発光現象の空間的分布

4.3.1 目撃情報と可能性のある未目撃情報について

Fig. 1 から、直接目撃者数が少ない地区には可能性のある未目撃者数が多い。逆に、直接目撃者数が多いところでは可能性のある未目撃者数が少ない傾向が見える。この傾向を確認するために、発光現象を目撃できる可能性のある回答者(直接目撃者数と可能性のある未目撃者数の和)に対する直接目撃者の数をプロットした図(Fig. 9)を示す。もし、ある校区で発光現象が生じ、目撃できる状況にあった者がすべて、直接に目撃すれば、可能性のある回答者数と直接目撃者数が等しくなる(図中の破線)。逆に、発光現象が生じていなければいくら可能性のある回答者が多くても直接目撃者数は0であるはずである。本アンケート調査結果は破線に近いグループと直接目撃者数が0の二つのグループに分かれており、それぞれの場所で発光現象が本当に生じていた、もしくは生じていなかったことを支持する結果を示している。

4.3.2 空間分布の特徴

目撃地点に地震動が到着した前後数分以内の直接目撃情報の内、目撃場所が特定できたものは19件であった(Fig. 8)。これらのうち約半数が1995年兵庫県南部地震の震央を中心とする半径10 kmの円に含まれている。この範囲外では震央から約25 km離れた御影地区と淡路島北東岸地域に目撃情報が多い。震央付近はもちろ

Fig. 10. Aftershock distribution of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake from January 17, 1995 to February 17, 1995 ($M \geq 3.0$). (after Yoshikawa and Ito, 1995)

のこと、御影地区も震源断層に沿う地域であり、淡路島北東岸では楠本断層に沿って多くの余震が分布している [Fig. 10: 吉川・伊藤 (1995)]. 一方、直接目撃情報・間接目撃情報ともに少ないのは、本調査地域の西端部に位置する明石市西部および播磨町である。この付近はアンケート配布地域のなかで、余震がほとんど分布していない地域である (Fig. 10).

4.4 他の発光現象に関する調査との比較

本地震に伴う発光現象の調査は、佃 (1995a, b) や Tsukuda (1997) によっても行われている。この調査は、発光現象の目撃者を探し、面談によって、観測した位置、光の見えた方角、光源が認識できたならばその形や広がり、光の色、発現時刻および継続時間を調べている。その結果、兵庫県猪名川町、西宮市南部、淡路島緑町、明石市およびこれらの囲まれた範囲内から目撃情報を得ている。したがって、われわれの調査よりも、個々の情報については詳細な情報を得ている。一方、調査件数が少なく、調査の空間的分布は均一でない。このように相互に補完的な調査であるが、次の4つの特徴は類似している。(1) 震央付近に目撃報告や発光源が多い。(2) ほとんどの発光現象が地震動の前後数分以内に目撃されている。(3) 継続時間が短い。長くても1分以内である。また、閃光型のように瞬間的に終わってしまうタイプと数秒間継続するタイプの二つがある。(4) 色は、白っぽい色、青〜青白い色、オレンジ系統の色が多い。また Tsukuda (1997) は、発光源の高さが地表より約200 m以内であることを指摘している。本アンケート調査でも、U-3 が地表から数m程度であることを指摘している。ほかの発光源を直接目撃した回答 (A-3, J-1) も、定性的ではあるが低い高度であったと判断され、この点も類似している。

本調査と Tsukuda (1997) で、同じ発光源をみていると思われる事例は、東灘地区 (本調査の A-3 と Tsukuda (1997) の No. 11)、明石海峡付近 (本調査の K-3, O-1 と Tsukuda (1997) の No. 21) の2例がある。それぞれの例について、本調査結果と Tsukuda (1997) の発光源の特徴を比較する。

東灘地区

	本アンケート調査 御影地区 (A-3)	Tsukuda (1997) No. 11 の例
発光源の位置	六甲アイランド 付近	御影浜 (六甲アイ ランド対岸)
発現時刻	主要動の直前	主要動の直前
継続時間	一瞬 (〜数十秒?)	1〜2 秒
発光の形状	水平な光の帯	水平な帯状の光
色	緑がかった青	赤〜ピンク

両者で、発光源の位置、発現時刻、継続時間および発光

源の形状は共通しているが、色が異なる。この違いを生じる原因としては発光源が異なっていた場合や同じ発光源であっても目撃した時間の違いによって、その色が異なる場合が考えられるが、このどちらであるかは、現時点では特定できない。

明石地区

	本アンケート調査 明石地区 (O-1)	Tsukuda (1997) No. 21 の例
発光源の位置 または目撃位 置と目撃方向	明石市船上町 から東南方向	明石海峡
発現時刻	地震の直前	揺れている最中
継続時間	—	2〜3 秒
発光の形状	横に延びる 細長い帯	西から東に 走る稲妻状
色	白っぽい	白 (黄)

O-1 で目撃された発光源と Tsukuda (1997) の No. 21 の事例は、発光の特徴が似ている。O-1 の目撃は、窓の隙間からの目撃であったので、No. 21 で示された発光源の一部を見ていたと考えたと発光の形状は矛盾しない。また、O-1 と震央との距離は約7 km 離れているので、地震動到達以前に光を認めている点も矛盾しない。

長田地区 (J-1) と淡路島東浦町 (U-3) の2例は、本調査で新たに見つかったと思われる発光源である。

4.5 本アンケート調査の限界と留意点

4.5.1 配布範囲について

菊地 (1999) は、宏観現象と地震との間の錯誤関係を避けるためには、「地震のあり・なし」と「異常現象のあり・なし」の四分分割表の4つのセルを公平に評価する必要のあることを説いている。また、錯誤相関を引き起こす原因の大きいものとして一つのセル「地震ありであり、異常現象が生じた」に注目し、残りをほとんど考慮しないことにすると述べている。本アンケート調査では、「地震なし」の場合 (地震の影響を無視できるほど十分に離れたところ、または、まったく地震が起こっていないとき) の二つのセルに相当する場合の調査については不十分と認めざるを得ない。しかし、「地震あり」の場合については、「発光現象あり」と「発光現象なし」の両方の場合を評価しているといえよう。

「地震なし」の場合を評価するための方法としては、地震の影響が十分無視できる地域で並行して同様のアンケートを行うか、もしくは、「地震なし」の場合の状況を把握できるような設問を加えることが必要であろう。

4.5.2 間接目撃情報について

アンケート調査を実施するに当たり、地震の発生時刻や先行する発光現象の研究例から、発光現象の目撃者数は少ないと予想された。そのため発光現象の地理的分布

を、より良く把握するためには、間接目撃情報のように若干精度が落ちて、より多くの情報を集める方が望ましい。

間接目撃者の分布は、直接目撃した人からの距離に関係した分布を示し、目撃場所から離れるに従って減少する傾向を示すと予想される。したがって、直接目撃情報が「点」で位置を示す情報であるのに対して、間接目撃情報は広がりをもった円で位置を示すような情報と考えている。いずれにせよ発光現象が起こったとすればその地点の近くに多く分布することが期待できる。

もちろん、情報が伝聞する際に、その内容は変化する可能性は否めない。本研究では、伝聞した内容には立ち入らず地理的分布のみを扱った。

4.5.3 色と明るさ

アンケート調査は、あくまでも回答者がどのように感じ取ったかを基にしている。そのため発光現象の「明るさ」や「色」は回答者が、地震発生時にどのような状況下にあったかによって答えが変わってくる可能性がある。

本アンケート調査では、回答者が地震時に置かれていた環境の「明るさや色」状況を直接には尋ねておらず、コメントなどから推測するしかない。そのコメントから、大多数の回答者は、地震時にはかなり暗いところにといたと判断される。

真の物理的な色を判断するためには、分光計など物理学的測定機器を用いるか、カラーチャートと対比させ、その結果から判断しなくてはならないだろう。その様な状況は理想的ではあるが、現実的ではない。心象的な色ではあるが、多くの報告例を集めることによって、より正しい発光像をとらえることができよう。

§5. ま と め

神戸市から明石市および淡路島北部地区でのアンケート調査の結果、1995年兵庫県南部地震に伴って発光現象が発生したことが明らかになった。また、この発光現象の特徴は以下のようにまとめられる。

1. 発光現象の目撃例は、アンケートを実施した範囲では余震域に多く分布する。特に本震の震央付近に多い。震央を中心とする半径10 kmの円内に約50%の目撃方向が含まれている。
2. ほとんどの発光現象がそれぞれの目撃地点への地震動到達時刻と同時に（少なくとも前後数分以内に）発現している。
3. 発光には、閃光型のように瞬間的に終わってしまうタイプと数秒間継続するタイプがあるが、継続時間は長くても30秒以内である。
4. 発光体の形状は、水平方向に伸びた帯状または弧

状のものが多く、地面から立ち上るような光の形状もある。

5. 色は、白っぽい色、青～青白い色、オレンジ系統の色があり、青～白系統の色が卓越する。

謝 辞

本アンケート調査は、以下に挙げる中学校の学校長はじめ教員および生徒の方々の協力なしには行えなかった。ここに記して心より感謝致します。御影中学校、原田中学校、港島中学校、葦合中学校、吉田中学校、鷹取中学校、高倉中学校、塩屋中学校、垂水東中学校、垂水中学校、舞子中学校（以上神戸市立）、朝霧中学校、大蔵中学校、錦城中学校、衣川中学校、大久保中学校、江井ヶ島中学校、魚住中学校、二見中学校（以上明石市立）、淡路町立岩屋中学校、東浦町立東浦中学校、北淡東中学校、北淡西中学校（以上北淡町立）、一宮町立一宮中学校。特に、面談調査に快く応じてくださった西川 潤さんおよびその面談にご協力いただいた淡路高等学校教諭武森文秀氏、同教頭浜田 稔氏に深く感謝いたします。同じく面談調査に快く応じてくださった杉本隆英氏に深く感謝いたします。また、関西電力神戸支店支店長室細見隆浩氏には、停電やスパークに関する有益な情報を提供頂いた。

アンケート結果の整理には、松島寛美・吉下千秋（当時神戸大学理学部）両嬢に手伝っていただいた。北海道大学理学部前田 亟先生および匿名の査読者から、本論文を改善する上で貴重なご意見を頂いた。ここに期して感謝いたします。

文 献

- John, S. D., 1973, Earthquake lights: A review of observations and present theories, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **63**, 2177-2187.
- 神沼克伊・岩田孝行・茅野一郎・大竹政和, 1973, 図説日本の地震, 地震研究所速報, No. 9.
- 菊地 聡, 1999, 宏観異常現象の報告を歪める認知的要因, *地震ジャーナル*, **28**, 35-43.
- 武者金吉, 1931, 昭和5年11月26日伊豆地震にともなひたる光の現象について, *東京大学地震研究所彙報*, **9**, 177-215.
- 武者金吉, 1932, 地震に伴う発光現象の研究及資料, 岩波書店.
- Tributch, H., 1978, Wenn die shclangen erwachen, (動物は地震を予知する, 渡辺 正, 朝日新聞社, 1985).
- 佃 為成, 1995a, 1995年兵庫県南部地震に伴った発光現象, *月刊地球*, 号外 **13**, 184-189.
- 佃 為成, 1995b, 大地震の前兆と予知, *朝日新聞社*, 190 pp.

TSUKUDA, T., 1997, Sizes and some features of luminous sources associated with the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake, J. Phys. Earth, **45**, 73-82.
安井 豊, 1968, 地震に伴う発光現象に関する調査報告

(第一報), 地磁気観測所要報, **13**, 25-61, 地磁気観測所.
吉川澄夫・伊藤秀美, 1995, 1995 年兵庫県南部地震の概要, 月刊地球, 号外, **13**, 30-38.

Appendix

Questionnaires used for this study.

神戸市ならびに神戸市周辺にお住まいの皆様へ

神戸大学
兵庫県南部地震「発光現象」調査グループ
代表：山口 寛（理学部講師）
神戸市灘区六甲台町1の1 〒657
TEL 078-803-0565 FAX 078-803-0490

「発光現象」に関するアンケートのお願い

拝啓 晩夏の頃、皆様にはいかがお過ごしでしょうか？

昨年1月17日の兵庫県南部地震よりは1年半が過ぎてしまいました。この地震により被災された方、身近な方を亡くされた方にはあらためてお見舞いとお悔やみを申し上げます。

この度、地震の直前あるいは地震の際に見られた「発光現象」について、皆様の体験をおうかがいするために便りを差し上げました。これまでも「発光現象」については、数多くの目撃談がマスコミなどで紹介されました。しかし、その多くは目撃談が断片的に報道されているだけで、科学的な資料としては限界があります。そこで、私たちはあの兵庫県南部地震の際に何が起きたかを、出来るだけ定量的な記録として残そうと、このアンケートを企画し、皆様にお願ひすることになりました。

ここで言う「発光現象」とは、地震の前後に見られた原因不明の光を言います。電線によるスパークなどの人工的なものや、自然現象でも雷、月明かりといったものは含みません。日本における「発光現象」の記録は、古くは869年の三陸地震まで遡ることが出来ます。それ以降も数多くの目撃記録が残っています。近年では、写真に撮られたものもいくつかあります。しかし、いまだに科学的な計測方法も確立していないために、人による目撃が最大の情報源となっています。

ご多忙中の折りととは存じますが、次ページ以降のアンケート用紙にお書き入れの上、各学校で指定された期日までに提出して頂きたいとさせていただきます。

敬 具

アンケートの回答方法について

アンケートは、該当する回答がある場合にはそれに○印をお付けください。また、該当する回答がなければ、枠にこだわることなくご自由にお書きください。最終ページありますご氏名・ご住所の欄は、出来るだけ記入いただければ幸いです。

☒ 「発光現象」をどこで見ましたか？

光を見たのはどこですか？
屋外／屋内

見られた具体的な場所（地名）を御記入ください。

光を見たのは
カーテン越しですか？
窓ガラス越しですか？
直接ですか？

窓ガラスは
透明／すりガラス

窓ガラス越しに見たという方

どの方向に見えましたか？
具体的な方位を、また日印になるような建物があればその建物の名前をお書きください。

東／南／西／北
北東／北西／南東／南西

あなたのいた場所から光までの距離はどのくらいですか？
およその距離を御書きください。

発光現象の規模（広がり）はどのくらいだったでしょうか？

数cm？
数m？
数十m？
数百m？

〇〇ビルから△△ビルくらい？
なるべく具体的にお書きください。

どの高さに見えましたか？

地上？
数メートルの高さ？
数十メートルの高さ？
△△ビルの上？
空？

なるべく具体的にお書きください。

次のページに御進みください。

? 兵庫県南部地震の前後で「発光現象」を観察になりましたか？

見た → 次のページへ御進みください。

見なかった

☒ 地震の時にはどこにいましたか？

具体的な場所（地名）をお書きください。

☒ 屋内ですか？ 屋外ですか？

屋内にいたという方

☒ 地震の際にいた場所は屋外が見えるような場所でしたか？

屋外が見える／屋外が見えない
カーテンを締めていましたか？
締めていた／開けていた
窓ガラスはすりガラスですか？
すりガラス／透明

周囲の状況をお書きください。

屋外にいたという方

☒ 周囲がビルや木立に囲まれていましたか？

☒ 地震で揺れたとき、あるいはその直後に周囲（屋外）を観察になりましたか？

（屋内にいた方）すぐに屋外を見た（屋外にいた方）すぐに周囲を見た
そのような余裕はなかった

☒ 地震の際に、御近所にお住まいになっていた方で「発光現象」を見たという方がいらっしゃいますか？

話を聞いたことがある／
近所ではそんな話は聞いたことがない

最後のページに御進みください。

「発光現象」を見たという方におうかがいします

観察になった「発光現象」というのは、電線のスパーク、雷、月明かりと明確に区別できるものでしたか？

明らかに区別できる／よくわからない

☒ 何時見ましたか？

☒ 地震（揺れ）の前ですか？

数日前／数時間前／数分前／寸前
具体的な日時（昼、夜）がわかれば御記入ください。

☒ 地震（揺れ）の後ですか？

どれくらいの時間続いていたか？
一瞬（1秒程度）／数秒／数1秒／1分以上
具体的にわかれれば御書きください。

揺れがおさまってどれくらいしてから見ましたか？具体的な時間がわかれば御書きください。

次のページに御進みください。

✓ どのような色や形でしたか？

どんな形でしたか？

- ・瞬間的な光ですか？
閃光（スパーク）
細い光の帯
- ・一定の形を持ち動く光？
火柱
ラッパ状の光
火災
- ・空中や雲が光ったものですか？
光る雲
空に広がった光

なるべく具体的に表現してください。絵で描いていただいてもかまいません。

どんな色でしたか？

右のカラー・チャートの該当する色のところに印を付けてください。

明るさはどの程度でしたか？

次のページに御進めください。

「発光現象」を見られた時の状況についてうかがいます

光を写真やビデオに撮ったという方はいらっしゃいますか？
写真・ビデオ類がある／ない

光を見たとき何か音を聞きましたか？
何か特別な音を聞いたという方は具体的にどのような音だったかお書きください。

光を見られたときは停電をしていましたか？
停電していた／停電はしていない

光を見たときに、何か臭いがしましたか？
何か臭いを感じたという方は、具体的にどのような臭いだったかお書きください。

光を見たときに、テレビ・ラジオあるいは無線にノイズが入ったということがありますか？
具体的にお書きください。

これまでの質問項目以外に、「発光現象」を見たときに感じたことをご自由にお書きください。

次のページに御進めください。

もしよろしければ、お名前とご住所を御記入ください。

御名前：

御住所：