

## 2 回分裂をした火球・2011年5月22日 0:20:43JST

報告：上田 昌良

兵庫県の淡路島北部の上空に、2 回分裂をした絶対光度-4.9 等の火球が出現した。この火球の全経路を上田昌良(大阪府羽曳野市)が、経路の途中から消滅点までを三本松高校(香川県東かがわ市)が自動 TV 観測で映像をキャッチし、同時火球となった(SonotaCo Network)。2 回の分裂は両地点で写っており、その分裂片の軌道などの詳細がわかった。

### 1. 撮影状況

この火球は、2 カ所での自動 TV 観測により捉えられた。

表 1. 撮影状況(2011.5.22 0:20:43JST)

No. 記号	撮影者	撮影地	撮影レンズ	発光点	消滅点	測定フレーム数	最大測定光度	写った経路(角度)	実経路長 km	備考
1 M11017	上田 昌良	大阪府	4mm	0	0	38	-5.9	20.5	57.3	3/30s, 0:20:43JST
2 M11018	三本松高校	香川県	8mm	X	0	48	-6.4	11.6	19.7	1/30s, 0:20:44JST

### 2. 暫定軌道決定

M11017 と M11018 の動画を流星位置測定ソフトである UFOAnalyzerV2 の手動測定機能を使って測定した。最初に両方の動画から 1 フレーム(1/30 秒)ごとに火球の赤経、赤緯を出した。さらに、1 フレームごとの火球の輝度を RBAviMeteor ソフトで測定して、その等級を出した。ただし、等級決定のときに、別の日に写しておいた金星(-4)等の輝度を使った。今回使った輝度総和から等級を決定する関係式は次のものである。

$$M11017 : M = -2.9702 * \log(\text{輝度}) + 9.182 \pm 0.5 \text{mag.}$$

$$M11018 : M = -3.7148 * \log(\text{輝度}) + 14.237 \pm 1.4 \text{mag.}$$

2 地点の同時観測データから実経路計算をして、計算結果の火球の速度を図 1 に示した。

#### 2-1. フレーム間隔、1/30 秒で火球の位置測定

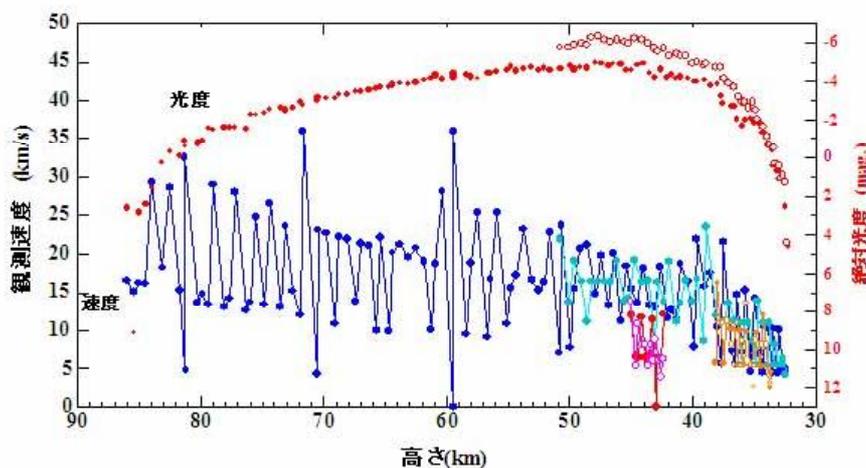


図 1. 高さで 1/30 秒間隔の速度と光度の変化。  
(2011年 5月 22日 0:20:43JST 出現)

M11017-11018VM.smp

図1の青色と青緑色の点が速度である。減速しているようすがわかるものの、かなり速度のばらつきが大きく、初速で± 8.1 km/s、終速で± 2.7 km/s もあった。手作業でかなり広がった火球の光芒を測るのは誤差がつきものであるが、特に1回目と2回目の分裂片の速度のばらつきも大きく改善を要するものである。この位置測定は UFOAnalyzerV2 ソフトで手動モードで1フレームずつ測った。それで、測定間隔は 1/30 秒である。

**2-2. フレーム間隔、1/60 秒で火球の位置測定**

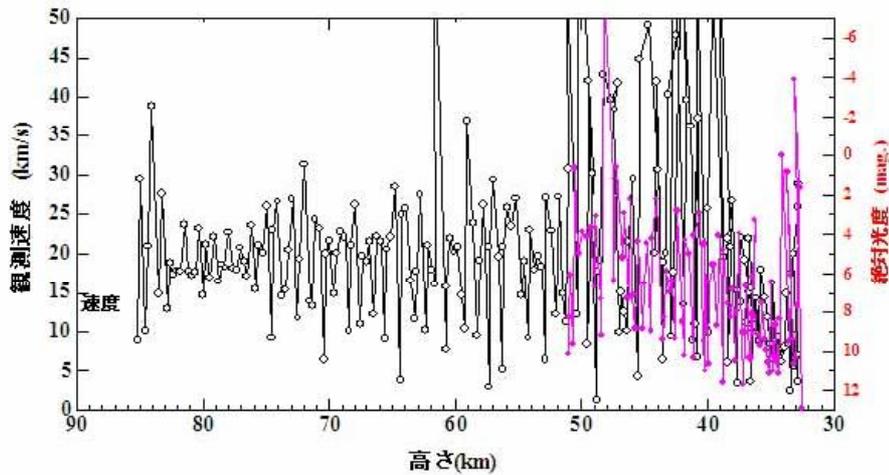


図2. 高さと 1 / 60 秒ごとの速度の変化、 (2011年 5月 22日 0:20:43JST 出現)

MI1017-11018VMt60.smp

UFOAnalyzerV2 ソフトの自動測定モードで火球を測定すると、測定間隔は 1/60 秒で位置測定ができる。この測定からの算出した速度を図2に載せた。やはり前述の2-1のときと同様にばらつきが大きい。特に、消滅点に近づいたときに火球が分裂をいっているの、このソフトが破片を測っている可能性も考えられる。

**2-3. フレーム間隔、3/30 秒で火球の位置測定**

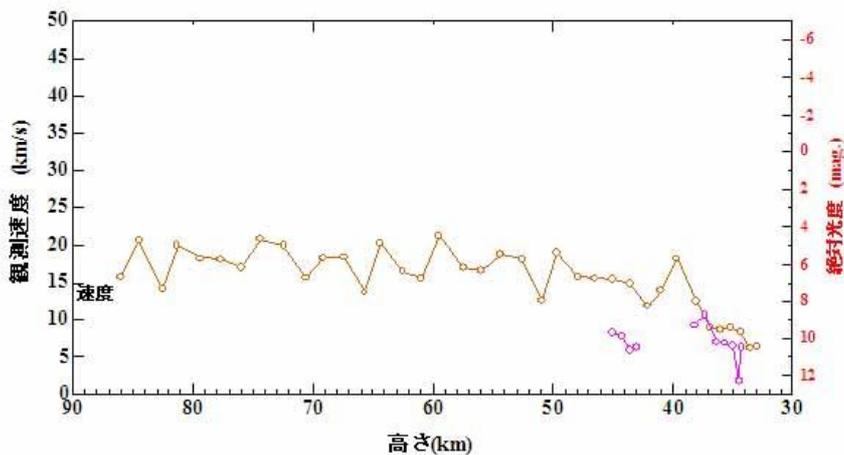


図3. 高さと 3 / 30 秒間隔の速度の変化、 (2011年 5月 22日 0:20:43JST 出現)

MI1017-11018VMt330.smp

前述の 2-1 の測定で、その測定位置を 3 フレームごとにしたもので、測定間隔は 3/30 秒となる。これで計算をすると速度のばらつきが図 3 のとおり小さくなり、初速で± 2.5 km/s、終速で± 1.3 km/s となった。分裂破片(図 3 中の紫色の点)の速度もかなりばらつきが小さくなった。

### 3. 最終軌道決定

速度のバラつきが大きい原因のひとつに 1 フレームごとに測った影響がある。つまり、今回の火球の実経路長は 57.3 km あった。これを 1 フレームごとに測った場合には、1 フレームごとの間隔におけるその経路長は平均 0.5 km となる。3 フレーム間隔では、平均 1.5 km と長くなる。従って、同じ測定誤差のデータを使っているのに、1 フレーム間隔からの速度の大きなばらつきに比べ、3 フレーム間隔からの速度のばらつきは、1/3 と小さくなったと考えている。次の図 2 の茶色の白丸が、3 フレーム間隔からの速度である。

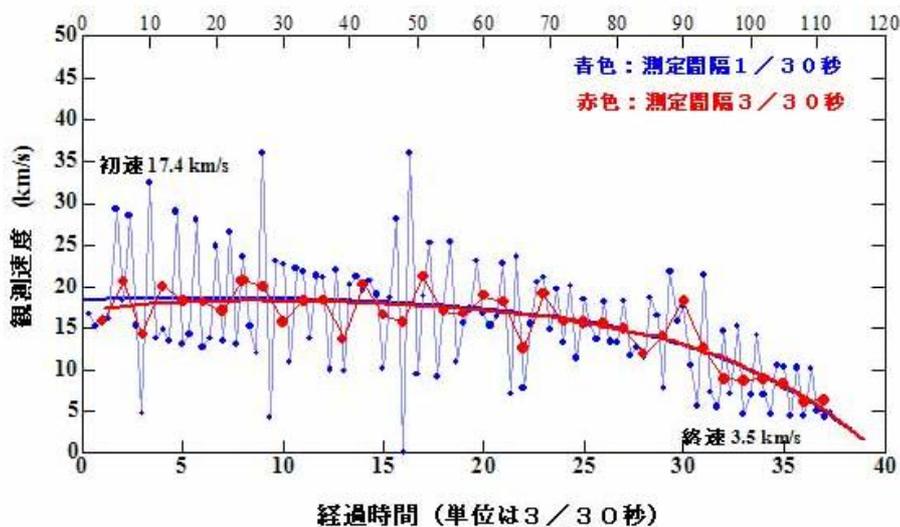


図 4. 経過時間と速度の変化、(2011年 5月 22日 0:20:43JST 出現)  
出現時からの経過時間(単位は 0.1 秒)と速度の関係から 4 次曲線となり、そこから初速と終速を決定した。。  
M11017VT2.smp

この火球の速度は、図 4 より初速 17.4 km/s ± 2.5 km/s、終速 3.5 km/s ± 1.3 km/s であった。兵庫県の淡路島北部の上空 86.0 km に出現し、32.4 km の高さで消滅した。継続時間は 3.5 秒で最大絶対光度は-4.9 等であった。図 1 の光度曲線をみても光度の変化はゆるやかなもので、初速は遅い部類の散在流星であった。この火球の軌道等は表 2 に載せた。

### 4. 分裂の高さ

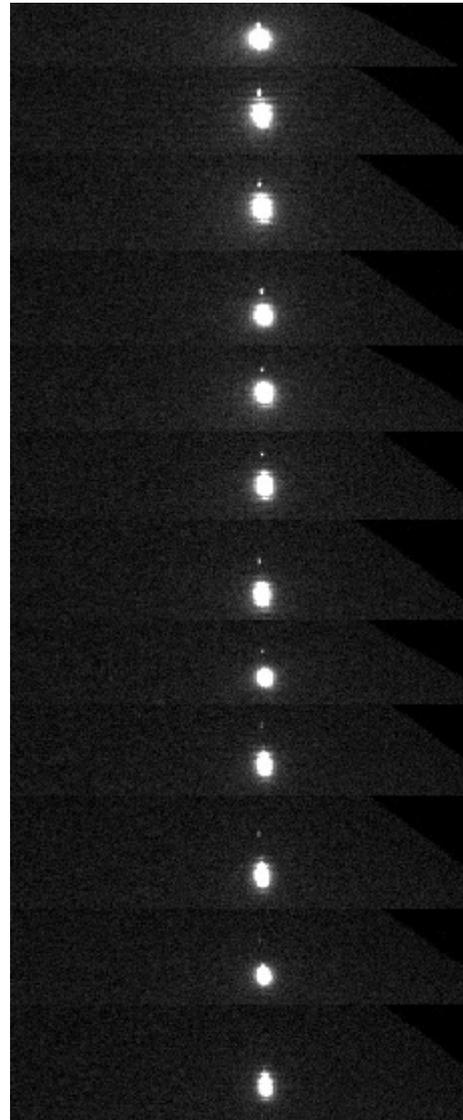
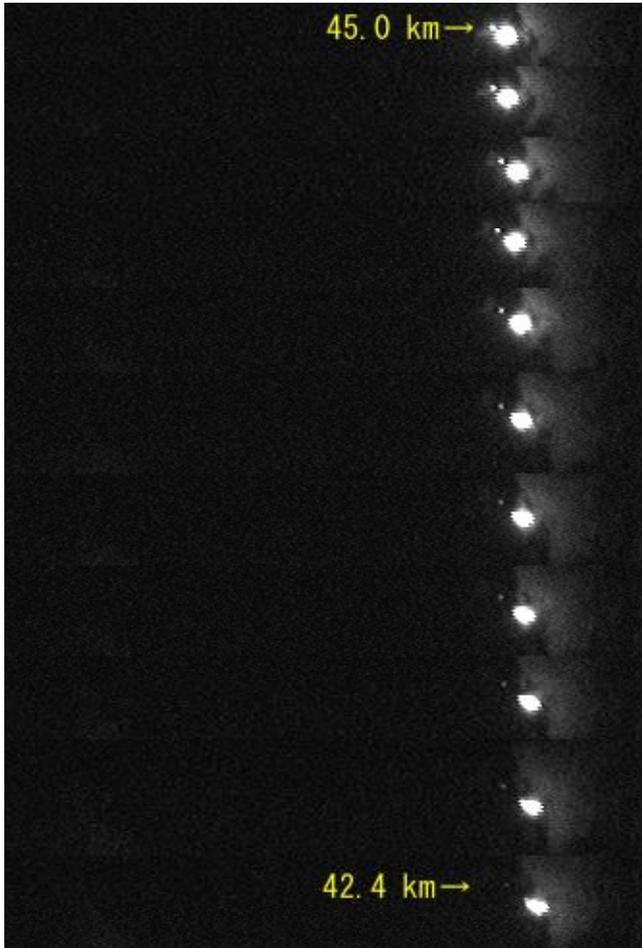
この火球は映像 1 と 2 に示した。大阪府羽曳野市からの映像は発光点から消滅点の全経路が写っている。そして、香川県からの映像は、経路の途中から消滅点までが写っている。なお、2 回の分裂のようすは両地点から写っていた。分裂のようすは 1/30 秒ごとのフレームを映像 2 と 3 にしめした。図 5 中にある破片(b)の写り始めの高さは 45.0 km でそのときの速度が 8.3 km/s であった。また、写り終わりの高さは 42.4 km でそのときの速度が 5.2 km/s であった。しかし、分裂した高さはこれよりも高い所で起こっているはずで、その

表2. 軌道等、2011.5.22. 00:20:43JST

年月日	(YYYYMMDD) 011 05 21		
時刻UT	(hhmmss)	15:20:43	
視輻射点	$\alpha_o$	223.8	$\pm 0.22^\circ$
	$\delta_o$	+23.8	$\pm 0.09^\circ$
修正輻射点	$\alpha_G$	220.0	
	$\delta_G$	+22.0	
初速	$V_\infty$ (Km/s)	17.4	$\pm 2.5$ km/s
終速	V (km/s)	3.5	$\pm 1.3$ km/s
地心速度	$V_G$ (Km/s)	13.5	
日心速度	$V_H$ (Km/s)	37.1	
交差角	Q(deg)	62.5	
絶対光度	(Mag).	-4.9	$\lambda : 135.128^\circ$ $\phi : +34.632^\circ$ h:47
発光点	$H_b$ (Km)	86.0	$\lambda : 134.988^\circ$ $\phi : +34.576^\circ$
	*		
消滅点	$H_c$ (Km)	32.4	$\lambda : 135.185^\circ$ $\phi : +34.654^\circ$
	*		
a : 軌道長半径	(AU)	2.34	
e : 離心率		0.603	
q : 近日点距離	(AU)	0.930	
$\Omega$ : 昇交点黄経	(deg)	60.09	
i : 軌道傾斜角	(deg)	12.65	
$\omega$ : 近日点引数	(deg)	218.42	
P : 周期(年)	(yr)	3.59	
流星群名		Spo	
継続時間	(sec)	3.8	
太陽黄経		60.082	
突入角	(deg)	69	
測光質量	g	451	
実経路長	km	57.3	
(J2000.0)			



映像1. 左は大坂府羽曳野市で撮影、右は香川県東かがわ市で撮影した火球。この映像は動画をコンポジットして静止画にしたもの。



映像 2. 1 回目の分裂。1/30 秒間隔のフレーム

ごとに映像を切り抜いて貼り付けた。

左が大阪府羽曳野市で撮影、右が香川県

東かがわ市で撮影。

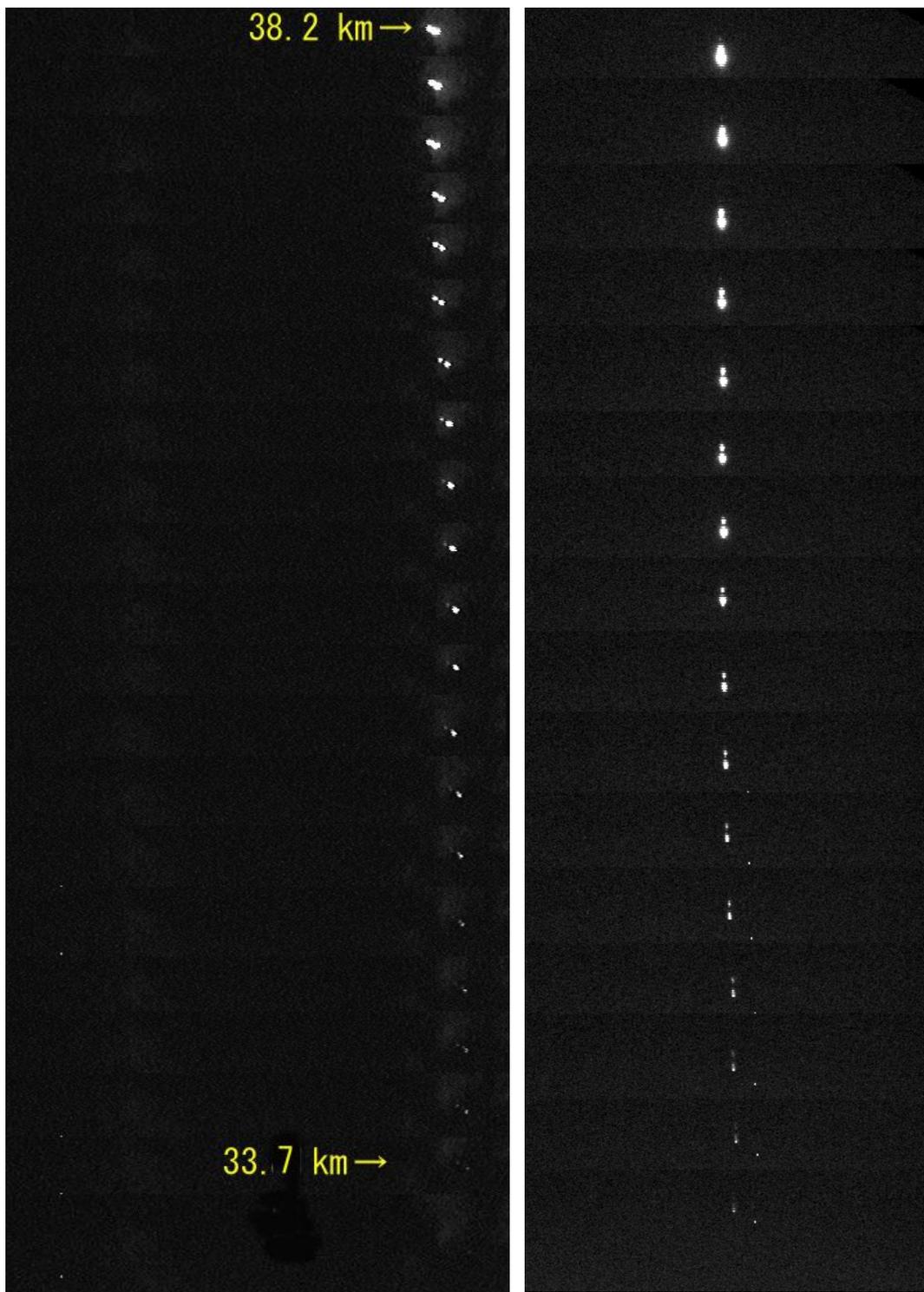
表3. 分裂破片の軌道等、2011.5.22. 00:20:43JST

破片 b

時刻 <b>JST</b>	(hhmmss)	0:20:45		
写り始めた点	H <sub>b</sub> (km)	45.0	λ :135.138°	φ :+34.635°
写り始めた点の速	V(Km/s)	8.3	±0.4 km/s	
写り終えた点	H <sub>e</sub> (Km)	42.4	λ :135.147°	φ :+34.640°
写り終えた点の速	V (km/s)	5.2	±0.4 km/s	
継続時間	(sec)	0.5		
測光質量	g	47		
実経路長	km	2.8		

破片 c

時刻 <b>JST</b>	(hhmmss)	0:20:45		
写り始めた点	H <sub>b</sub> (km)	38.2	λ :135.163°	φ :+34.645°
写り始めた点の速	V(Km/s)	10.2	±1.6 km/s	
写り終えた点	H <sub>e</sub> (Km)	33.7	λ :135.179°	φ :+34.651°
写り終えた点の速	V (km/s)	3.6	±1.6 km/s	
継続時間	(sec)	0.7		
測光質量	g	91		
実経路長	km	4.8		



映像 3. 2 回目の分裂。1/30 秒間隔のフレームごとに映像を切り抜いて貼り付けた。

左が大阪府羽曳野市で撮影、右が香川県東かがわ市で撮影。

映像は、分裂次には分離して写るぐらい離れていないので、分離した姿が写せないのである。図 5 から破片 (b) の高さと速度の関係は次の式で書き表せる。

$$V = +1.1988H - 45.598 \pm 0.4 \text{ km/s} \quad \text{破片 (b)}$$

そこで、火球本体の速度と一致する高さが 52 km となる。それで、分裂が始まった高さが 52 km であったと推定できる。同様に破片(c)について関係式は次のようになる。

$$V = +1.5160H - 47.511 \pm 1.6 \text{ km/s} \text{ 破片(c)}$$

それで破片(c)の分裂が始まった高さが 40.5 km であったと推定できる。

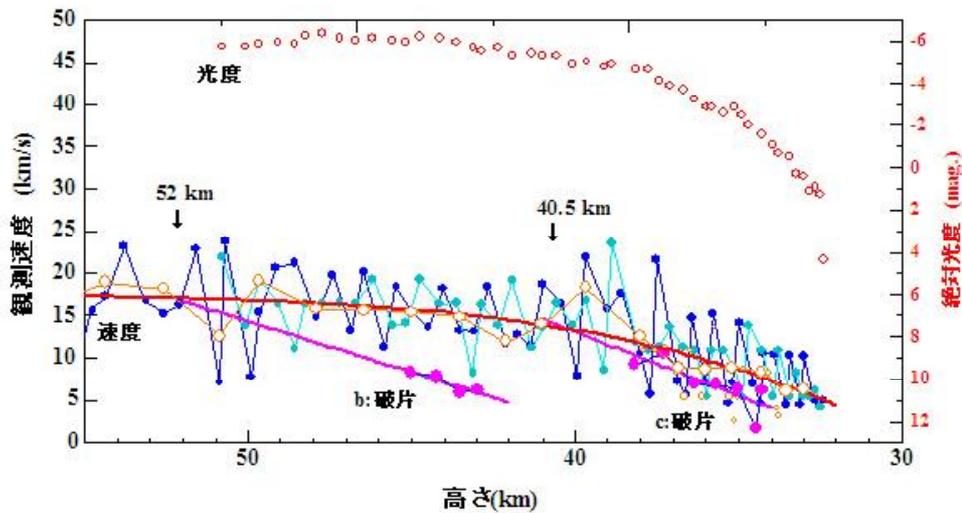


図 5. 高さ 3 / 30 秒間隔の分裂破片の速度の変化、  
(2011年 5月 22日 0:20:43JST 出現)

このように、今回の火球は、分裂をしたその破片を同時観測でき、その破片の軌道等を算出できたケースとなった。貴重な分裂データを得ることができた。また、今後、隕石落下の可能性のある大火球が分裂をした場合に、その破片の地上への落下の予報も精度良くできると思われる。

## 5. 謝辞

この火球の自動 TV 観測し、その動画などを提供していただいた三本松高校の三好輝徳先生には感謝を申し上げます。