

要約

流星は赤外線を多く含むため、赤外線に感度のあるImage Intensifier (II)やCCDで撮影すると、より明るく写ると言われている。そこで、1) IIに暗視時の眼視の分光感度を持つフィルターを付けた場合、2) フィルターを付けない場合、3) 眼視の3種類の方法で流星等級を求める観測を行った。明治大学天文部の31名が観測したペルセウス群50流星、ふたご群19流星、散在44流星の結果を集計した。平均すると眼視よりもIIは、ペルセウス群：0.5等、ふたご群：1.0等、散在：0.5等明るく写ることが分かった。

IIに暗視時の眼視の分光感度を持つフィルターを付けた場合、眼視等級とほとんど同じ等級が得られることが分かった。

マイナス等級の明るい流星は、眼視に比べてIIがより明るく写ることが分かった。幾つかの例から、眼視等級が約-1等の場合、IIは約3等明るく写っていた。マイナス等級の明るい流星は赤外線を多く含む場合があり、より明るく写るためであろう。

1. はじめに

流星の等級は流星物質の質量を表すための重要な指標であり、従来、眼視等級や写真等級を指標としてきた (Opic, 1958; Verniani, 1967)。ところで流星は赤外線を多く含むため (Borovicka et al., 1999)、赤外線に感度のある新しい観測機材 (IIやCCD) で撮影すると、より明るく写ると言われている。従来の等級と新しい等級の差異を正確に求めることにより、従来の観測と新しい観測の正しい比較が可能となる。しかし今まで十分な検討が行われていないようだ。そこでIIと眼視で比較観測を行ったので報告する。

2. TV等級と眼視等級の比較

重野と戸田は2004年4月に1回、8月に2回、IIと眼視で流星等級を求める観測を行った。21流星が得られ、どの流星もTV等級の方が0.2等~2.6等明るく、平均で1.2等明るかった。

IIが赤外線にも感度を持つため、赤外線の多い流星が明るく写るためであろう。

TV等級と眼視等級の差 ( $M_{tv}-M_v$ ) が他の要因で変化するか調べた。図1に眼視等級 ( $M_v$ )、角速度 ( $V_a$ )、観測速度 ( $V_0$ ) との関係を示すが特に傾向ははっきりしない。 (Shigeno & Toda, 2005)

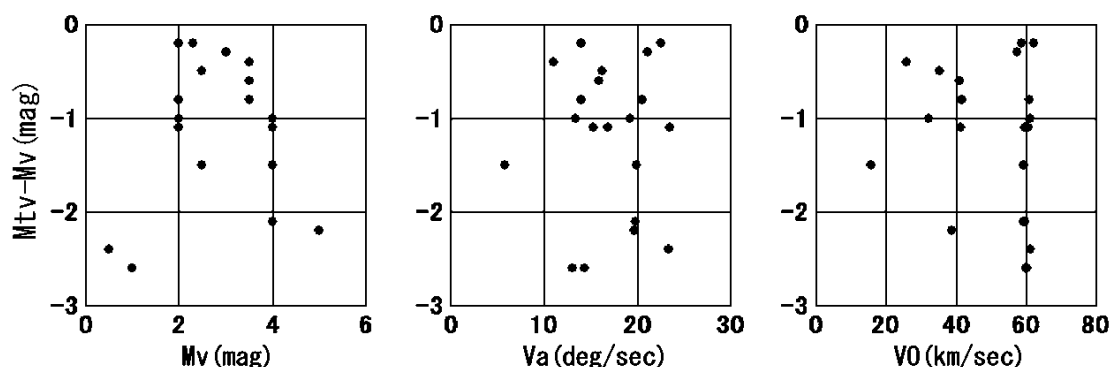


Figure 1 Comparison between deviation (TV magnitude - Visual magnitude) ( $M_{tv}-M_v$ ) and Visual magnitude ( $M_v$ ), Angular velocity ( $V_a$ ), Observed velocity ( $V_0$ ).

3. IIに眼視分光感度フィルターを付けた観測

上記の観測方法では正しい眼視等級が分らない。そこで、1) IIに暗視時の眼視の分光感度を持つフィルターを付けた場合 ( $M_{tvF}$ )、2) フィルターを付けない場合 ( $M_{tv}$ )、3) 眼視 ( $M_v$ ) の3種類の方法で流星等級を求める観測を行った。TV流星の等級は、恒星画像の輝度・サイズと等級との関係から求め、さらに角速度補正を行った。明治大学天文部の31名が観測した2007年8月11~13日のペルセウス群50流星、12月14日のふたご群19流星、散在44流星の結果から、表1にIIと眼視の等級比較に関する個人別集計結果を示す。

3.1.  $M_{tv}$  と  $M_{tvF}$  の比較

表1上段の「 $M_{tv}-M_{tvF}$ 」に示すとおり、ペルセウス群：-0.5等、ふたご群：-1.0等、散在：-0.5等であった。つまりフィルター有りよりも無しの方が0.5~1.0等明るく写ることが分った。SDはデータのばらつきを標準偏差で表したものであり、 $\pm 0.6 \sim 0.7$ 等となっている。これはデータのばらつきであり、平均の誤差を表したものではない。

3.2. Mv と MtvF の比較

各個人ごとに集計した結果を表 1 中段に示す。マイナスは明るく、プラスは暗く見積っていることになる。約 1 等明るく見積る人と、暗く見積る人がいることが分った。そして全観測者の集計結果(表 1 下段の全眼視)から、平均 Mv と平均 MtvF の差は 0.0~0.2 等であり、ほとんど差がないと言う結果が得られた。つまり本報告の MtvF はおおよそ Mv を表していることになる。ただし観測者ごとのデータのばらつきは±0.8~0.9 等と大きい。

3.3. マイナス等級の明るい流星は、眼視に比べて I I がより明るく写る。代表的なマイナス等級の流星を図 2 に示す。眼視等級は約 -1 等だが、1) MtvF は約 1 等明るく、2) Mtv はさらに約 2 等明るい。

1) の理由としては、TV 観測の等級は瞬間的な一番明るいところを測定している。一方、眼視は平均的な等級を取る。よって明るい流星の場合、瞬間的な増光が発生しやすいため、TV は眼視よりも明るく見積ってしまうものと思われる。

2) の理由としては、マイナス等級の明るい流星は赤外線を多く含む場合があり、より明るく写るためであろう。

Table 1. I I と眼視の等級比較に関する個人別集計結果

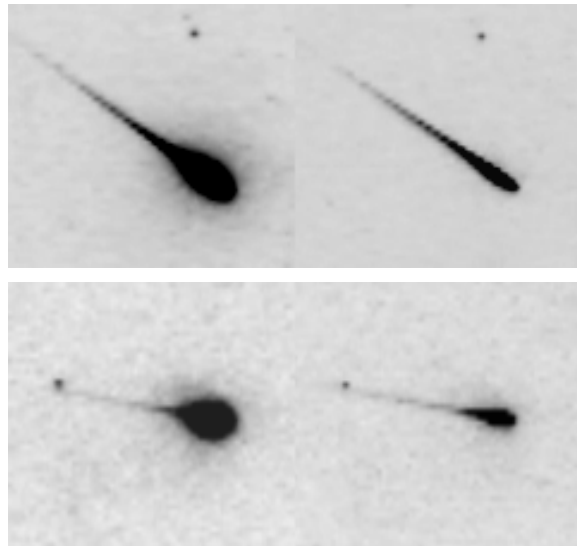
Mtv-MtvF : 「フィルター無し TV 等級(Mtv)」-「フィルター有り TV 等級(MtvF)」の平均とデータのばらつき(SD)

Mv -MtvF : 「眼視等級(Mv)」-「フィルター有り TV 等級(MtvF)」の個人別平均とデータのばらつき(SD)

ペルセウス群				ふたご群				散在			
観測者	個数	平均	SD	観測者	個数	平均	SD	観測者	個数	平均	SD
Mtv-MtvF	50	-0.5	0.7	Mtv-MtvF	19	-1.0	0.6	Mtv-MtvF	44	-0.5	0.6
Mv-MtvF				Mv-MtvF				Mv-MtvF			
細木	2	-1.4	0.4	佐藤	3	-0.9	1.2	坂口	1	-1.4	0.0
山下	2	-0.9	0.3	廣田	2	-0.7	0.6	齊藤由	3	-1.1	0.4
方波見	2	-0.7	0.1	大島	3	-0.5	1.6	齊藤翔	1	-1.1	0.0
北川	1	-0.5	0.0	荒井	1	-0.4	0.0	方波見	2	-1.0	0.5
奥山	3	-0.3	0.9	金谷	4	-0.3	0.7	山田	2	-0.6	0.8
坂口	2	-0.3	0.7	山下	2	-0.2	0.3	飯野	2	-0.6	1.3
新舎	2	-0.3	0.4	小川宏	2	-0.2	0.3	佐藤	8	-0.5	0.9
木下	13	-0.3	0.7	由利谷	2	-0.2	1.0	奥山	2	-0.4	0.1
由利谷	18	-0.3	0.6	松崎	1	0.0	0.0	北村	5	-0.4	0.5
佐藤	9	-0.2	0.6	木下	6	0.0	0.9	金谷	12	-0.3	0.7
若狭	10	-0.2	0.6	若狭	4	0.2	1.1	木下	9	-0.2	1.0
小川由	21	-0.2	0.8	小川由	9	0.3	0.8	加藤嵩	7	-0.1	0.7
松崎	3	-0.2	1.4	重野	3	0.5	0.6	小川由	15	-0.1	0.9
土井	3	-0.2	0.3	松田	5	0.5	0.7	松田	4	-0.1	0.7
金谷	7	-0.1	0.7	北村	5	0.7	0.9	大島	7	-0.1	0.7
齊藤由	3	-0.1	0.5	山田	2	0.8	0.8	由利谷	21	-0.1	0.5
能登	4	-0.1	1.7	齊藤由	3	1.7	0.7	松崎	4	0.0	0.5
荒井	20	0.0	0.8					荒井	11	0.1	0.6
飯野	8	0.0	1.0					若狭	9	0.1	0.6
加藤嵩	2	0.1	1.0					山下	3	0.2	0.3
大島	8	0.1	0.7					土井	3	0.3	0.6
加藤俊	2	0.2	0.9					黒崎	4	0.4	0.4
黒崎	3	0.5	0.4					戸田	9	0.5	0.9
廣田	3	0.6	1.0					加藤俊	1	0.6	0.0
戸田	13	0.7	1.1					廣田	2	0.6	0.2
重野	17	1.0	0.7					細木	2	0.9	0.8
北村	2	1.2	0.3					重野	17	0.9	0.6
								北川	1	1.6	0.0
全眼視	183	0.0	0.9	全眼視	57	0.2	0.9	全眼視	167	0.0	0.8

図2. マイナス等級の明るい流星

左上 フィルター無し (Mtv) : -4.0 等  
 右上 フィルター有り (MtvF) : -1.7 等  
 眼視等級 (Mv) : -0.5 等  
 No. P40 2007. 8. 12 17:07:50 (UT) Per.  
 左下 フィルター無し (Mtv) : -4.8 等  
 右下 フィルター有り (MtvF) : -2.2 等  
 眼視等級 (Mv) : -1.4 等  
 No. G05 2007. 12. 14 13:42:39 (UT) Gem.  
 フィルター : SCHOTT BG18 2mm  
 (暗視時の眼視の分光感度相当 :  
 400nm~600nm)  
 I I の分光感度は 350~900nm.



#### 4. まとめ

ペルセウス群の赤外スペクトル観測で、630~670nm及び730~780nmの窒素分子バンド、加えて777nmの酸素原子輝線を初めとする多くの原子輝線が得られている (Ebizuka N., pers. comm.). TV観測ではこれらの赤外光により0.5~1.0等明るく写り、特にマイナス等級の流星の場合にはさらに光度差が大きくなることが分かった。一方、I Iに暗視時の眼視の分光感度を持つフィルターを付けた場合、ほぼ眼視と同じ等級が得られることが分かった。

流星の等級と質量の関係に関しては寺田充氏に、赤外スペクトルに関しては海老塚昇氏に貴重な意見をいただきました。

#### 5. 補足 (等級と画像サイズの関係)

流星の等級を正確に求めるため、恒星の等級と画像サイズの関係調べた。よく使用する対物レンズ85mm/F1.2、24mm/F1.4の観測結果を図3に示す。0等より暗い恒星の等級と画像サイズの関係はほぼ直線で近似できる。しかし0等より明るくなると急激にサイズが大きくなることが分かった。これはI Iの特性であろう。そこで0等より暗いところでは直線近似、0等より明るいところでは2次関数で近似させ、図3上で直線及び曲線で示した。図3はフィルター無しの場合であるが、有りの場合は近似式が異なる。

図4は2001年のしし群のTV観測による火球である (Shigeno et al., 2003)。本方法で等級を求め直したところ Mtv : -7.6 となった。この流星は残念ながら眼視では見ていない。当日は大出現日だったため、多くの観測者が観測を行っていた。しかしこのように明るい流星は目撃されていない。図2で示したとおり、Mv と Mtv は約3.5等の差があることから、実際の眼視等級 (Mv) は-4等程度だったと思われる。

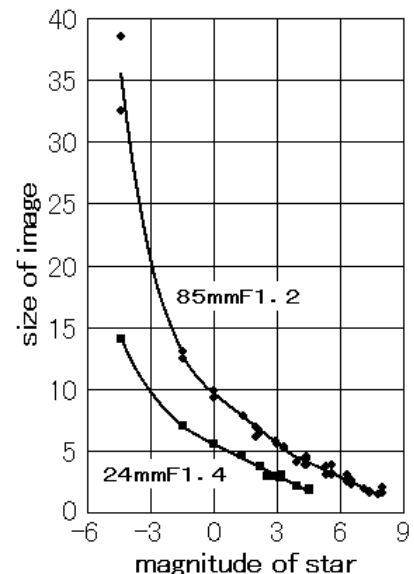
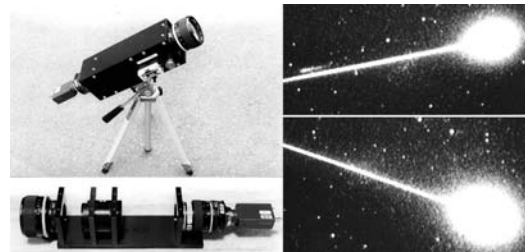


Figure 3 Comparison between magnitude of star and size of image.

Figure 4 The figure on the left shows the TV observation equipment. The device with the Image Intensifier (Delft High Tech XX1470 etc.). The figure on the right shows an example of a double station TV meteor. ID: MSSJBZ on Nov 18 2001 at 18:19:34 (UT). TV magnitude (Mtv) = -7.6.



#### References

- Opic E. J., Physics of meteor flight in the atmosphere, Interscience Publishers, Inc, 1958, p.148.
- Verniani F., Meteor Masses and Luminosity, Smithsonian Contributions to Astrophysics, Vol.10., 1967, pp.181-195.
- Borovicka J., Stork R., Bocek J., First results from video spectroscopy of 1998 Leonid meteors, Meteoritics & Planetary Science, 34, 1999, pp.987-994.
- Shigeno Y., Toda M., Double-station TV meteor observations (2004.08.11-12), Nippon Meteor Society, Apr, 2005.
- Shigeno Y., Shioi H., Shigeno T., Radiants and orbits of the 2001 Leonids, The Institute of Space and Astronautical Science Report SP No. 15, 2003, pp.55-62.

2007. 12. 15  
 02:06:00/  
 02:06:38

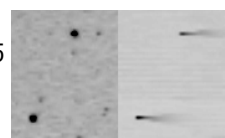


表2. I. I. と眼視の等級比較(ペルセウス群) 2007年8月 妙高高原(明治大学天文部)

フィルター: SCHOTT BG18 2mm (暗視時眼視分光感度) (フィルター無: No4-02デマルチ暗 フィルター有: No5-06デマルチ)

No	時刻(JST)	群	I. I. 等級		眼視等級								
			フィルター無し	有り	1	2	3	4	5	6	7	8	
	08. 12/13				小川由	木下	土井	奥山	新舎				
P06	23 09 15	Per	1.0	2.0	1	1	2	1	2				
P07	23 43 33	Per	2.4	2.2	3			3					
P08	23 45 05	Per	0.7	0.6	0	0	0	0	0				
	08. 12/13				荒井	金谷	佐藤	加藤嵩	大島			重野	戸田
P09	00 04 00	Per	1.7	1.8		1	1		2				
P10	00 14 15	Per	1.1	1.6	1			1	1				
P11	00 24 53	Per	2.4	2.1	2	2						4	
	08. 12/13				由利谷	小川由	木下	若狭	土井			重野	戸田
P19	01 07 12	Per	2.8	3.0	3	3	3	3					
P20	01 07 21	Per	1.6	2.2	2	3	2	2					4
P21	01 10 23	Per	1.6	2.2	1	1	1	2					
P22	01 10 32	Per	1.1	2.2	1	1		2				2	1
P23	01 13 59	Per	1.9	2.4	3		3					4	
P25	01 20 43	Per	1.9	2.5	2	3	3	2				4	
P30	01 33 14	Per	2.3	2.4	2	2	2	2					
P31	01 33 29	Per	0.8	2.1	1	1	1	1	2			2	1
P34	01 37 58	Per	1.7	2.0	2		3	3					
P36	01 40 50	Per	2.3	2.4	3			3					
P37	01 42 14	Per	1.5	1.7	1	1	1	1					3.5
P38	01 52 36	Per	1.8	2.1									4
	08. 12/13				飯野	小川由	佐藤	金谷	荒井			重野	戸田
P39	02 01 03	Per	1.0	2.4		2	2	2	2			4	
P40	02 07 50	Per	-4.0	-1.7	0	0	-1	-1	-1			0	-0.5
P41	02 08 53	Per	0.9	2.0	1	1			1			2	2
P45	02 31 40	Per	0.5	1.7	3	1	2	2	3			3	
P46	02 42 00	Per	1.8	2.2	2	3			3			3	
P47	02 42 26	Per	2.6	2.5	3	3	3		3			4	
P48	02 42 55	Per	0.8	1.8	1	1			1				3
P49	02 42 57	Per	2.9	2.8					2				
P50	02 44 22	Per	0.9	1.8	1	1						3	1
P51	02 44 27	Per	0.8	1.4	1	1	1		1				3
	08. 12/13				荒井	由利谷	黒崎	大島	加藤嵩			重野	戸田
P55	03 15 22	Per	2.0	2.2	3		3	3					
P56	03 15 29	Per	2.2	2.9	3	2		3				4	4
P57	03 23 16	Per	2.0	2.2	3				3			4	
P58	03 23 47	Per	0.4	1.4	2	1		1				2	
P59	03 24 10	Per	1.7	1.9	3	2	2	2				3	
P60	03 26 57	Per	2.9	2.7		3							
P61	03 27 16	Per	2.8	2.8		3							
P65	03 43 08	Per	1.9	1.7	1	1		1					2
P66	03 44 49	Per	2.4	2.3		3	3						
P68	03 52 51	Per	0.4	0.6								1	2
	08. 13/14				方波見	木下	佐藤	坂口	齊藤由				
P70	23 14 38	Per	1.3	1.8		2	2	2	2				
P72	23 27 25	Per	0.5	-0.2	-1	-1	-1	-1	0				
			★確かに暗く写っている。やや薄雲あるも、眼視に比べてなぜ暗く写ったのか不明。										
	08. 13/14				金谷	加藤俊	北川	小川由	荒井				
P73	01 28 24	Per	1.3	1.5		1	1		1				
P75	01 47 52	Per	2.1	2.2	3	3		3	3				

	08.13/14				松崎	能登	北村	廣田	大島	方波見		
P76	02 03 49	Per	1.8	2.0		3	3	3				
P78	02 24 00	Per	-4.6	-1.4	0	0	0	0	0			
P81	02 30 33	Per	2.3	2.6	2							
P84	02 46 40	Per	2.7	2.6						2		
P85	02 49 38	Per	1.4	2.5		2		2				
P86	02 50 02	Per	1.3	2.3	1	0						
	08.13/14				齊藤由	金谷	細木	佐藤	山下			
P87	03 07 55	Per	1.2	2.7	2		1		2			
P88	03 08 29	Per	1.1	2.1		1	1	1	1			

表3. I. I. と眼視の等級比較(ふたご群) 2007年12月 足柄観測所(明治大学天文部)

No	時刻(JST)	群	I. I. 等級		眼視等級								
			フィルター		1	2	3	4	5	6	7	8	
			無し	有り									
					松田	山田	齊藤由	若狭	北村				
G01	22 06 49	Gem	2.2	2.5	3								
G03	22 16 56	Gem	1.4	1.5			4	3	3				
G04	22 35 43	Gem	-0.4	-0.3	1	1	1	0	1				
G05	22 42 39	Gem	-4.8	-2.2	-1	-2	-1	-2	-1				
					山下	松田	荒井	松崎	小川宏				
G06	23 06 13	Gem	0.0	1.4	1	1	1		1				
G07	23 44 02	Gem	0.7	2.0	2	2		2	2				
					若狭	齊藤由	大島	細木	廣田				
G08	00 32 53	Gem	-0.7	1.1	0		1		0				
G09	00 48 24	Gem	0.9	2.3					2				
					小川由	木下	金谷	由利谷	北村		重野	戸田	
G10	01 01 22	Gem	3.0	3.7		4							
G12	01 21 41	Gem	1.3	2.5	2			3	2				
G13	01 24 26	Gem	0.2	0.7	2	1	1						
G14	01 37 15	Gem	0.6	1.9	2	1	2	1	2				
G15	01 51 36	Gem	1.3	1.9	3							3	
G16	01 55 39	Gem	-1.1	-0.6	0							0	
G17	01 59 35	Gem	1.2	2.1								2	
					小川由	木下	佐藤	金谷	大島				
G18	02 01 58	Gem	1.7	2.1	2		2						
G20	02 13 20	Gem	-0.1	1.2	2	2	1	1	2				
G21	02 16 37	Gem	0.4	1.3	0	0	-1	0	-1				
G22	02 22 02	Gem	1.3	2.4	3	3							

表4. I. I. と眼視の等級比較(散在流星) 2007年8月及び12月 (明治大学天文部)

No	時刻(JST)	群	I. I. 等級		眼視等級								
			フィルター		1	2	3	4	5	6	7	8	
			無し	有り									
	08.11/12		等級	等級	奥山	松崎	由利谷	廣田	小川宏				
P01	23 13 49	sp	1.2	1.4	1	2	1		2				
P02	23 30 38	sp	3.0	3.3	3		3						
	08.12/13				由利谷	金谷	松田	齊藤翔	山田				
P03	22 16 16	sp	1.4	2.5		2	3						
P04	22 17 03	sp	2.8	2.8	2		3						
P05	22 42 22	sp	1.4	2.1	1	1	1	1	1				

	08.12/13				荒井	金谷	佐藤	加藤嵩	大島		重野	戸田
P12	00 27 20	sp	1.4	1.8				2	1			
P13	00 27 53	sp	2.8	2.7			1				4	
P14	00 29 08	sp	2.6	2.7	3	3	2	3			3	
P15	00 33 58	sp	2.7	2.8	3	3		2				
P16	00 52 32	sp	-2.1	-0.2							0	0
	08.12/13				由利谷	小川由	木下	若狭	土井		重野	戸田
P17	01 00 36	sp	1.4	2.5	3	3	3	3				2
P18	01 01 04	sp	1.4	2.1	2	3						
P24	01 17 19	sp	1.5	2.2	2	2	2	2			3	
P26	01 21 08	sp	0.7	1.0	1	2	2	2	2		2	1
P27	01 26 19	sp	0.3	1.2	1	1	1	1	1		2	2
P28	01 29 29	sp	1.9	1.9	2	2		2	2		4	
P29	01 29 34	sp	1.5	2.3				2			4	4
P32	01 34 14	sp	2.6	2.9	2	1						
P33	01 35 35	sp	0.7	2.3	3	3	3	3			3	
P35	01 38 47	sp	3.0	3.0	3	3	2	3				
	08.12/13				飯野	小川由	佐藤	金谷	荒井		重野	戸田
P42	02 22 03	sp	1.5	2.5	1	1		1	1		3	
P43	02 26 04	sp	2.0	2.1			1		2		4	
P44	02 26 09	sp	1.8	2.6					3		4	
P52	02 48 50	sp	2.9	2.6	3	3	3	3	3			
	08.12/13				荒井	由利谷	黒崎	大島	加藤嵩		重野	戸田
P53	03 02 52	sp	3.1	3.0	3	2	3	2	2			2
P54	03 06 35	sp	2.8	2.7		3						
P62	03 29 49	sp	1.4	2.2		2					3	
P63	03 31 20	sp	2.7	2.7	3	3	3	3	2		3	4
P64	03 31 40	sp	0.9	1.7	2	2	2	2	2		3	
P67	03 45 32	sp	-1.8	-0.9	0	0	0	0	0		0	0
	08.13/14				茨木	由利谷	大島	佐藤	金谷			
P69	22 43 54	sp	2.4	2.6		3						
	08.13/14				方波見	木下	佐藤	坂口	齊藤由			
P71	23 25 44	sp	2.4	2.4	1	0	1	1	1			
	08.13/14				金谷	加藤俊	北川	小川由	荒井			
P74	01 37 11	sp	0.9	1.4	2	2	3	1	1			
	08.13/14				松崎	能登	北村	廣田	大島	方波見		
P77	02 16 48	sp	2.8	3.3			2					
P79	02 25 21	sp	2.5	2.5	2		2	3				
P80	02 27 26	sp	2.7	2.7						2		
P82	02 41 45	sp	2.9	3.0	3							
P83	02 41 49	sp	2.2	2.2	2		2	3	2			
	08.13/14				齊藤由	金谷	細木	佐藤	山下			
P89	03 18 22	sp	0.9	2.1	1	1			2			
P90	03 21 13	sp	2.3	2.7	2	3	3	3	3			
P91	03 30 43	sp	2.0	2.5		3	4	3	3			
	12.14/15				松田	山田	齊藤由	若狭	北村			
G02	22 16 00	sp	2.8	3.0	3	3		2	3			
	12.14/15				小川由	木下	金谷	由利谷	北村			
G11	01 16 59	sp	-1.9	0.0	-1	0	-1	0	0			
	12.14/15				小川由	木下	佐藤	金谷	大島		重野	戸田
G19	02 06 38	sp	-1.3	1.2	1	1	1	1	1		1	2