

原発事故に伴う東北地方太平洋側地域の大気および地表の汚染状況（続報）

尾方隆幸（琉球大学教育学部）

2011年7月1日

はじめに

このレポートでは、2011年6月3日付けで本webサイトに掲載された速報（尾方 2011）に続き、先に提示した50地点のデータを用いて、大気中と地表面との汚染状況の関係、原発からの距離と汚染状況との関係を分析する。また、ごくわずかな地形条件の差異による汚染状況の違いと、地表物質による放射性物質の沈着量の違いを示す。そして、地表面の汚染と今後の地形変化の影響について見解を述べる。

測定には、日立アロカメディカル社のTGS-146（GM計数管式サーベイメーター）およびICS-321（電離箱式サーベイメーター）を使用した。大気中では、地表面から1mの高さで、遮蔽物がない方向に検出器を向けて測定した。地表面では、検出器を地表に垂直に向け、地表から約3cm離して測定した。

図1に観測地点の位置を示す。まず岩手県～宮城県～福島県の海岸地域を中心に、大気中と地表面の放射線計数率を、GM計数管を用いて測定した（A1～16）。これは広域の汚染状況を調べ、地理的に、また大気と地表でデータを比較するためである。続いて、特に汚染の激しい福島県の阿武隈高地北部において、線量の地理的分布と地表物質による汚染程度の違いを明らかにする目的で、GM計数管と電離箱を併用して放射線計数率と線量率を測定した（B1～14およびC1～20）。付録には位置情報も含めたデータ一覧を示すので、あわせて参照されたい。

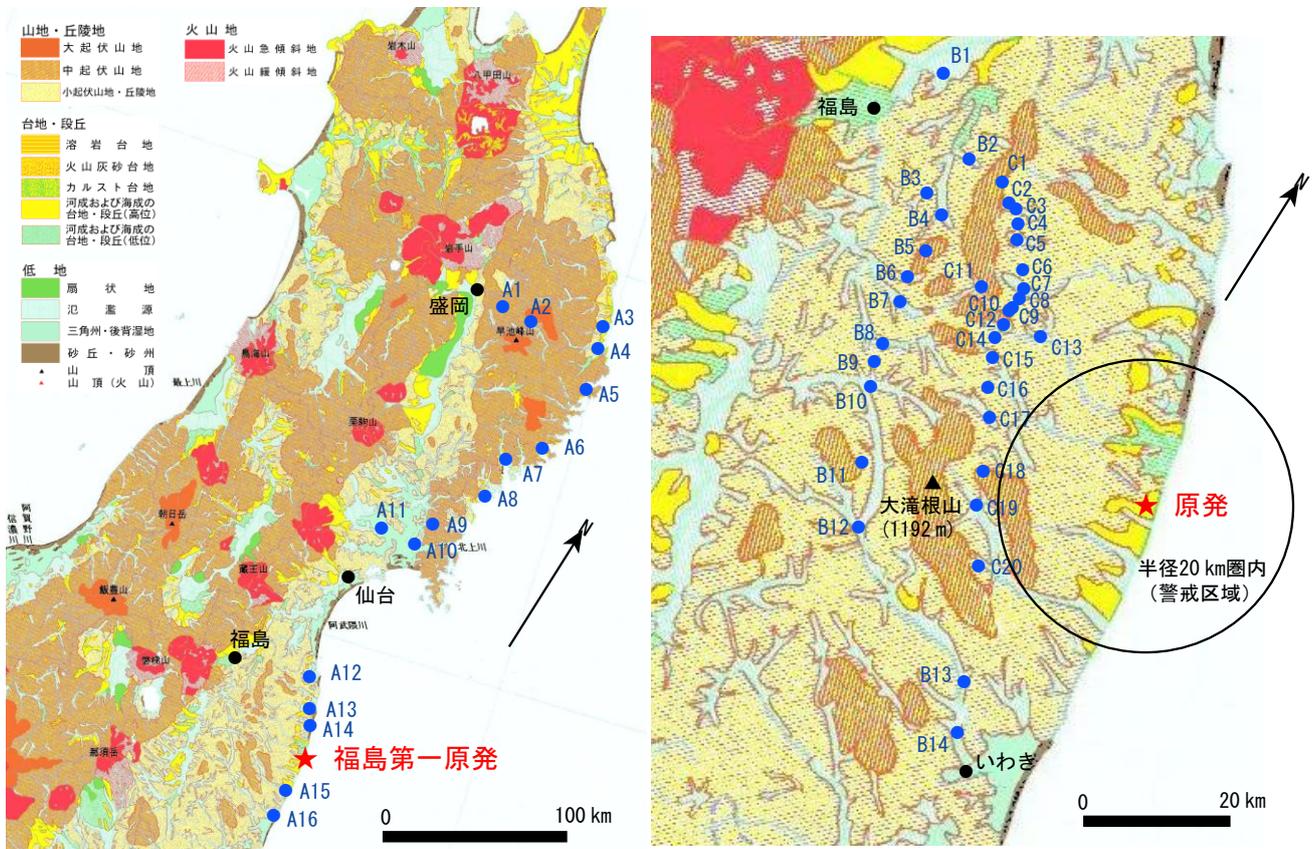


図1 観測地点の分布（基図は「日本国勢地図」の地形分類図）

大気と地表の汚染状況

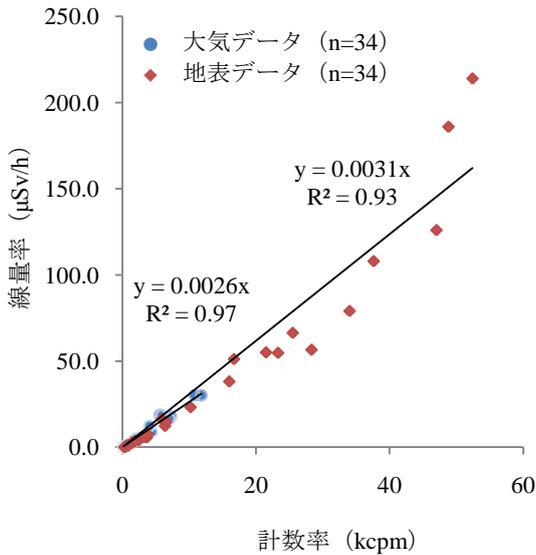


図2 放射線の計数率と線量率との関係

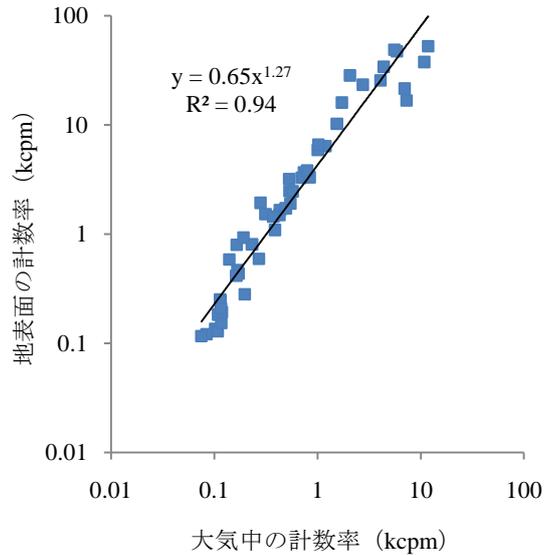


図3 大気中と地表面との計数率の関係

まず、阿武隈高地北部の34地点で得られたデータ（速報の表2の全データ）から、計数率と線量率との相関を求めた（図2）。両者には線形で近似される高い相関があり（決定係数：大気データ0.97、地表データ0.93）、計数率からみた汚染状況と、線量率からみた汚染状況は、ほぼ一致した。以下では、すべての地点で実測値が得られている計数率（cpm）を用いて分析を進めるが、線量率（Sv/h）のデータからみてもほぼ同様の結果が得られると考えてよい。

大気中と地表面との計数率の関係（図3）は、空間線量と表面線量との関係を指標している。放射性物質の大量放出から約2ヶ月が経過した調査時では、地表面の汚染度合いが空間線量を決定していると考えられるが、空間線量の情報に比べて表面線量のデータが乏しい状況を踏まえ、縦軸に地表面の計数率を置いた。両データの関係は、累乗関数によくフィットすることがわかる（決定係数：0.94）。

原発からの距離と汚染状況との関係

原発からの距離と計数率との関係をグラフ化した（図4）。大気中（地表から1m）および地表面（地表から3cm）のいずれもデータはL字型にプロットされ、原発からの距離によってデータ分布が全く異なる。原発から近い地点（66km以内のデータ）では大気中で140～11,800cpm、地表面で281～52,400cpmの幅があり、距離に規定される傾向はない。一方、原発から遠い地点（131km以遠のデータ）では、大気中で118cpm以下、地表面でも251cpm以下で、やはり距離との相関関係ははっきりしない。すなわち、原発から近い地点でも遠い地点でも、距離と線量との相関はほとんどなく、距離とは異なる因子が線量を決定していることがわかる。

ただし、宮城県以北のデータを詳細に検討すると、大気中のデータがほぼ均一なのに対し、地表面のデータは距離によって若干の減衰が認められる（速報の表1参照）。宮城・岩手県の測定地点で大気中の計数率がほぼ均一であることは、測定時点では放射性物質の拡散がかなり進んでいるためであろう。一方、地表面の計数率は、宮城・岩手県でも、距離が大きくなるに伴って減衰する傾向が、わずかながら

認められる。これは放出イベント時の放射性物質降下量の違いを反映している可能性があるが、大気中の計数率に大きな影響を及ぼすレベルの違いではないようである。

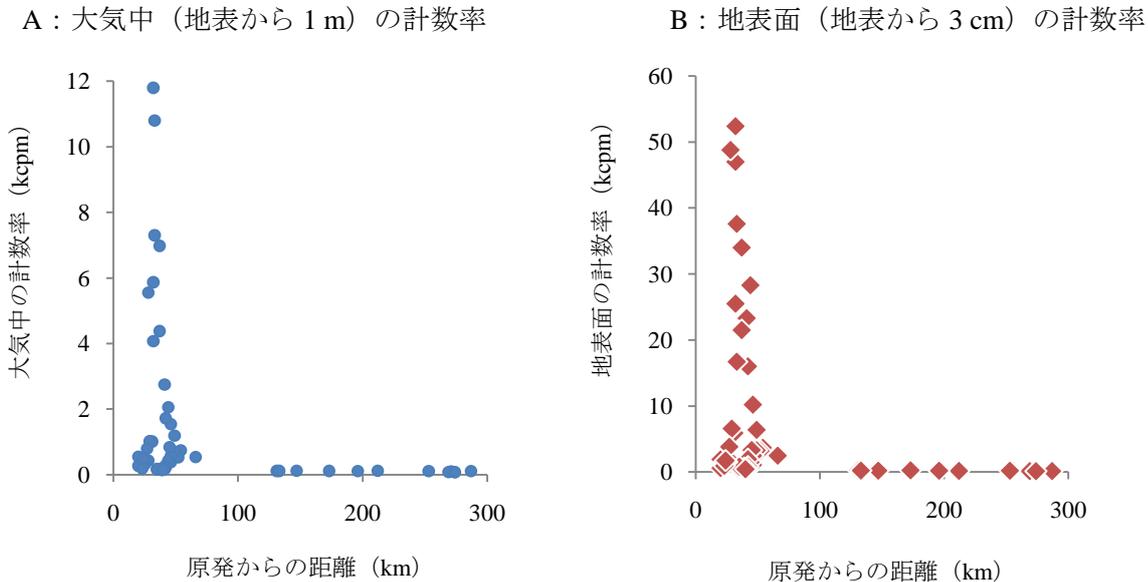


図4 原発からの距離と放射線計数率との関係 (A：大気データ, B：地表データ)

福島県の汚染状況を決定している因子は、少なくとも原発 20 km 圏外では、距離ではない。3 月下旬以後、放射性物質の新たな大量放出はないと考えられるため、調査時点での大気中の汚染状況は、地表面の汚染状況を反映したものと考えられるべきであろう。つまり、放出イベント時には気象と地形が空間線量の分布を支配し、それが地表への降下・沈着量を決定した。そして、その結果としての地表線量分布が、現在の空間線量分布を決めていると考えられる。現在の大気汚染の線源は地表面だといえよう。

地表面での沈着量の違い

阿武隈高地 (B1～B14 および C1～C20) では、植生、粗粒土、細粒土に分けて測定した (付録参照)。汚染がきわめて激しい北阿武隈高地の東部 (B1～B14) では、植生より表土が汚染されている場合と、逆の場合があった。極端なホットスポットが形成されていない北阿武隈高地の西部 (C1～C20) では、表土よりも植生で高い値になることが多かった。

地表面の汚染は粗粒土より細粒土で激しく、植生の測定値は、キク科などの雑草より、シバなどイネ科の雑草で高くなる傾向にあった。

地表面のわずかな条件の違いが汚染状況に与える影響を調べるため、阿武隈高地から太平洋に流れる新田川河口付近の津波堆積物上 (渋佐海岸：北緯 37 度 38 分 6 秒，東経 141 度 1 分 22 秒) で計数率を測定した。原発から 22 km の渋佐海岸には、3 月 11 日の津波堆積物からなる荒地が広がっている。

測定時にはやや強い南風が吹いており、まず風向きによる測定値の違いをチェックしたところ、風上向け (南向け) で 168 cpm，風下向け (北向け) で 164 cpm と、ほぼ同じ値になった。続いて、微地形の違いによる汚染状況の差異をみるため、微高地、微低地、湛水域の 3 ヶ所で計数率を測定した (写真 1)。

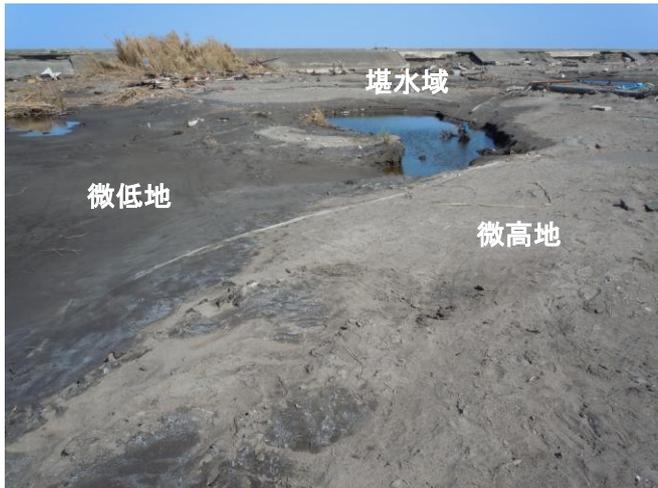


写真1 測定地点の状況（南相馬市渋佐海岸）

表1 渋佐海岸における放射線計数率

測定対象物	計数率 (cpm)	観測日時
風上向け空間	168	2011/5/18 14:56
風下向け空間	164	2011/5/18 14:58
微高地の津波堆積物	149	2011/5/18 15:00
微低地の津波堆積物	281	2011/5/18 15:02
堪水域の表面	217	2011/5/18 15:04
枯死木	312	2011/5/18 15:06
瓦礫(礫)	537	2011/5/18 15:08
瓦礫(コンクリート)	620	2011/5/18 15:10

得られた計数率は、微高地で 149 cpm，微低地で 281 cpm，堪水域の表面で 217 cpm であった。堪水域の表面を基準にすると、微低地は約 30 cm，微高地は約 120 cm 高い。写真1で視認されるように、測定時には、微高地は乾いていたが、微低地はかなり湿っていた。ここは海岸で風が強く、乾いたところでは飛砂が発生していると考えられ、微高地と微低地では地形条件が異なると考えられる。これだけ近接した、ほぼ同一の堆積物のところでも計数率には違いがあり、地形場（特に侵食場と堆積場）による汚染状況の違いが示唆される。

さらに、すぐ近くに散在していた枯死木と、礫・コンクリート（いずれも瓦礫の破片）で計数率を測定したところ、それぞれ 312 cpm，537 cpm，620 cpm であった。いずれも津波堆積物より高い値を示しており、測定対象物によって値が大きく異なることがわかる。

地表面の汚染と地形変化の影響

地表面の汚染を長期的に考えるとき、特に問題とされる核種は Cs-137 であろう。Cs-137 の半減期は約 30 年で、地表付近の粘土鉱物に強く吸着する性質がある。したがって、地表から深くなるにしたがい、その濃度は指数関数的に減少していく。また、粘土鉱物に強く吸着するため、水に流されにくく、主に土壌粒子に吸着した状態で移動する。つまり、土壌粒子が移動すれば、Cs-137 も移動する。

温暖多雨な日本の森林斜面では、降雨イベント時に頻繁に表面流が発生する。表面流によって地表面が侵食されれば、土壌粒子は運搬され、河川などに堆積する。この地形変化は繰り返し発生し、そのたびに Cs-137 は流域の中で移動していく。これは「地形変化による二次拡散」といえよう。自然林よりも、下層植生が貧弱な人工林で表面侵食が発生しやすいことが指摘されており、とりわけ人工林の土壌侵食には注意を要する。

今後、校庭や耕地で表土の処理がなされたとしても、森林斜面の客土を広域で実施することは不可能である。したがって、上に指摘した二次拡散を防止することはできない。また、この地形学的プロセスによって Cs-137 が局所に集積することになるが、新たなホットスポットを現地住民が見抜くことも難しいであろう。森林や河川でのレクリエーション、特に子どもの土遊びには十分な注意が必要で、安全管理のための明確な指針が求められる。

おわりに

浜佐海岸の測定事例で示したように、測定値は、ごくわずかな地表の条件によって変わる。測定にあたっては、地表物質はもちろんのこと、測定する地表面が侵食場なのか堆積場なのかを十分に理解することが必要である。地形学的な場によって、測定値の意味がまったく変わるからである。また、測定値の一人歩きも危惧される。放射線のサーベイメーターは、測定器のエネルギー特性などによる器差がきわめて大きい。測定器の情報と、地表条件の情報を伴わないデータは混乱を招く危険性があり、注意が必要である。

土壌汚染、特に作物への影響については、文部科学省が6月上旬に実施した大規模調査の結果が待たれるところである。しかしながら、この調査は2 km メッシュの空間的（地理的）精度であるため、前述した地形学的な場の評価は不十分にならざるを得ない可能性がある。その点でも、自治体をはじめとするさまざまな機関の、ミクロな空間スケールでの自主的な測定には意味があるといえよう。ただし、測定にあたっては地形的な場の条件を考慮していただき、測定値を公表される際には、測定器の情報、位置情報、さらには地形場の情報を付与していただくことを望みたい。

文 献

尾方隆幸 2011. 原発事故に伴う東北地方太平洋側地域の大气および地表の汚染状況（速報）. 東北地方太平洋沖地震・日本地理学会災害対応本部 HP. http://www.ajg.or.jp/disaster/201103_Tohoku-eq.html

付録 測定データの一覧

距離は福島第一原発からの直線距離。測定対象は、大気 (a)、植生 (v)、地表 (g)。大気は地表から 1 m の高さで測定。植生はイネ科やキク科などの雑草の表面を測定。阿武隈高地では、地表面を粗粒土 (c) と細粒土 (f) とに分けて測定。原発事故後の侵食・堆積作用の影響がほとんどないと考えられる平坦面で、かつ人があまり歩行しないと思われる場所を測定地点に選んだ。

地点	距離 (km)	対象	計数率 (cpm)	線量率 (μ Sv/h)	観測日時	北緯	東経	標高 (m)
A1	271	a	102	-	2011/5/15 12:00	39° 39' 06"	141° 21' 16"	735
		g	135	-				
A2	269	a	84	-	2011/5/15 12:50	39° 39' 00"	141° 35' 21"	325
		g	121	-				
A3	287	a	108	-	2011/5/15 14:40	39° 45' 51"	141° 57' 53"	158
		g	129	-				
A4	274	a	75	-	2011/5/15 15:45	39° 38' 19"	141° 58' 14"	2
		g	116	-				
A5	253	a	111	-	2011/5/15 16:35	39° 26' 16"	141° 58' 21"	32
		g	184	-				
A6	212	a	117	-	2011/5/15 18:20	39° 07' 16"	141° 47' 56"	160
		g	153	-				
A7	196	a	109	-	2011/5/15 19:10	39° 00' 30"	141° 37' 44"	3
		g	182	-				
A8	173	a	115	-	2011/5/17 15:55	38° 48' 51"	141° 34' 03"	5
		g	241	-				
A9	147	a	118	-	2011/5/16 18:20	38° 37' 11"	141° 19' 33"	8
		g	192	-				
A10	131	a	114	-	2011/5/16 17:20	38° 30' 03"	141° 17' 39"	4
		g	251	-				
A11	133	a	116	-	2011/5/17 23:15	38° 31' 24"	140° 56' 19"	20
		g	208	-				
A12	46	a	388	-	2011/5/18 13:10	37° 45' 37"	140° 56' 50"	7
		g	1090	-				
A13	28	a	433	-	2011/5/18 13:55	37° 38' 09"	140° 58' 59"	20
		g	1660	-				
A14	20	a	270	-	2011/5/18 14:30	37° 36' 10"	141° 00' 20"	7
		g	592	-				
A15	20	a	547	-	2011/5/27 21:50	37° 14' 39"	141° 00' 01"	44
		g	1900	-				
A16	35	a	172	-	2011/5/27 21:20	37° 06' 24"	140° 59' 39"	2
		g	434	-				
B1	66	a	536	0.5	2011/5/27 11:10	37° 49' 13"	140° 30' 35"	50
		v	2,470	4.6				
		c	792	1.7				
B2	54	a	742	0.8	2011/5/27 12:00	37° 44' 27"	140° 36' 37"	118
		v	3,020	5.4				
		c	3,660	5.7				
B3	52	a	531	0.6	2011/5/28 14:40	37° 40' 07"	140° 34' 31"	215
		v	3,180	6.1				
		f	947	11.2				

B4	49	a	701	0.7	2011/5/28 13:10	37° 39' 12"	140° 36' 26"	214
		v	3,270	6.0				
		c	2,320	4.3				
B5	46	a	574	0.3	2011/5/28 12:50	37° 36' 52"	140° 35' 15"	457
		f	2,460	4.2				
B6	45	a	842	0.8	2011/5/28 12:30	37° 34' 16"	140° 34' 40"	340
		v	3,310	6.2				
		f	2,220	3.9				
B7	44	a	427	0.2	2011/5/28 12:10	37° 33' 02"	140° 35' 11"	346
		v	1,490	2.7				
		c	793	1.5				
B8	42	a	280	0.0	2011/5/28 11:40	37° 29' 26"	140° 34' 32"	396
		v	1,930	3.6				
		c	1,480	2.8				
B9	42	a	232	0.0	2011/5/28 11:10	37° 26' 47"	140° 34' 47"	448
		v	804	1.1				
		c	388	0.3				
B10	41	a	167	0.0	2011/5/28 10:40	37° 26' 06"	140° 35' 31"	413
		v	467	0.5				
		c	441	0.4				
B11	39	a	197	0.0	2011/5/28 10:10	37° 20' 57"	140° 36' 24"	562
		f	281	0.1				
B12	39	a	140	0.0	2011/5/28 9:40	37° 17' 53"	140° 37' 05"	433
		v	583	0.9				
		c	337	0.3				
B13	35	a	165	0.0	2011/5/27 20:10	37° 08' 06"	140° 51' 02"	34
		v	797	0.9				
		f	307	0.2				
B14	40	a	163	0.0	2011/5/27 20:40	37° 04' 16"	140° 52' 53"	16
		v	414	0.3				
		c	305	0.2				
C1	49	a	1,190	2.2	2011/5/27 12:30	37° 42' 08"	140° 39' 43"	524
		v	6,380	12.4				
		f	4,850	8.1				
C2	46	a	1,540	3.3	2011/5/27 12:50	37° 41' 27"	140° 40' 34"	481
		v	10,200	23.3				
		f	9,450	19.7				
C3	44	a	2,060	5.2	2011/5/27 13:10	37° 41' 35"	140° 41' 54"	449
		v	18,500	44.2				
		f	28,300	56.6				
		c	12,400	34.3				
C4	42	a	1,720	3.5	2011/5/27 13:40	37° 40' 46"	140° 42' 02"	490
		v	10,400	24.7				
		f	14,200	28.6				
		c	16,000	38.2				
C5	41	a	2,750	5.7	2011/5/27 14:00	37° 39' 44"	140° 43' 40"	455
		v	21,800	42.6				
		f	23,300	54.8				
		c	12,500	29.5				

C6	37	a	6,980	16.4	2011/5/27 14:50	37° 37' 30"	140° 44' 26"	687
		v	21,500	55.1				
		c	14,400	36.2				
C7	32	a	5,870	18.4	2011/5/27 15:10	37° 36' 43"	140° 45' 01"	482
		v	30,900	83.7				
		f	47,000	126.0				
		c	22,500	63.3				
C8	33	a	7,300	17.8	2011/5/27 15:30	37° 36' 07"	140° 45' 13"	581
		v	16,700	51.2				
		f	12,600	33.2				
C9	33	a	10,800	30.1	2011/5/27 15:50	37° 35' 50"	140° 44' 57"	513
		v	32,100	101.0				
		f	37,600	108.0				
		c	29,900	84.7				
C10	32	a	11,800	30.2	2011/5/27 16:10	37° 35' 11"	140° 45' 19"	568
		v	32,700	92.8				
		f	52,400	214.0				
C11	37	a	4,380	8.8	2011/5/28 13:40	37° 34' 56"	140° 43' 10"	571
		v	34,000	79.1				
		f	29,100	68.6				
C12	32	a	4,070	12.3	2011/5/27 16:30	37° 33' 37"	140° 44' 49"	414
		v	22,300	54.2				
		f	25,500	66.4				
		c	24,400	59.6				
C13	28	a	5,550	18.8	2011/5/28 14:00	37° 33' 34"	140° 46' 13"	409
		f	48,800	186.0				
		c	30,200	84.7				
C14	31	a	1,010	1.5	2011/5/27 16:50	37° 32' 01"	140° 44' 45"	650
		v	5,890	16.3				
		f	7,830	15.4				
C15	29	a	1,020	1.6	2011/5/27 17:10	37° 30' 05"	140° 45' 52"	448
		v	6,570	14.8				
		f	7,080	14.3				
		c	3,860	8.4				
C16	27	a	792	1.3	2011/5/27 17:30	37° 28' 55"	140° 45' 44"	600
		v	3,810	7.5				
		c	2,330	4.7				
C17	25	a	313	0.1	2011/5/27 17:50	37° 26' 03"	140° 47' 42"	375
		v	1,520	3.1				
		f	1,110	2.2				
		c	834	1.3				
C18	23	a	372	0.4	2011/5/27 18:20	37° 22' 53"	140° 48' 04"	559
		v	1,000	1.9				
		c	1,440	2.8				
C19	23	a	192	0.0	2011/5/27 18:40	37° 20' 16"	140° 48' 37"	409
		v	718	1.2				
		f	927	1.3				
C20	24	a	493	0.7	2011/5/27 19:20	37° 15' 42"	140° 50' 14"	567
		v	894	1.6				
		c	1,720	3.2				