

## 6. ライダー黄砂消散係数とSPM濃度による黄砂検出の検討

日本における継続的な黄砂観測は気象台での目視によって行われており、視程10km未満を黄砂現象として報告されている(1989年以降は10km以上も記録)。一方、目視による黄砂だけでなく、より科学的・定量的手法の活用により広範囲に黄砂飛来を把握できる方法を見出すことも重要である。ライダーによる観測では、気象台が観測した黄砂日(以下気象台黄砂日)でない日にも黄砂粒子の飛来を示唆するデータが見られることから、ここではライダー観測データによって得られる下層での黄砂消散係数(5ページ参照)とSPM時間値との関係を使って黄砂を検出する方法について検討した。

### 6.1 使用データ

使用したデータは、国立環境研究所ライダー計測値から導き出された黄砂消散係数について、高度150m~270mの1時間平均値(長崎、松江、富山)を算出したものと、ライダー設置地点に隣接する常時監視局でのSPM濃度時間値である。また、黄砂飛来の状況把握には、後方流跡線、天気図、CFORS予測結果、硫酸イオン濃度などを使用した。期間は、平成20(2008)年4月から平成23(2011)年3月までの3年間である。

### 6.2 気象台黄砂日における黄砂消散係数とSPM濃度の関係

黄砂によってSPM濃度が上昇した場合、ライダーにおける黄砂消散係数とSPM濃度には、相関関係の存在が予想される。そこで、気象台黄砂日における黄砂消散係数1時間平均値とSPM時間値との関係をみるために、両者の相関係数、回帰式(傾き、切片)について、気象台黄砂日の24時間で計算を行った。その結果を、地点別に表6-1に示している。

表6-1 気象台黄砂日における黄砂消散係数1時間平均値とSPM時間値の相関

年度	年	月	日	長 崎										松 江										富 山											
				時間 消散最大	黄砂消 散平均	SPM 最大	SPM 平均	相関係 数	傾き	切片	地点 黄砂 日	消 散 黄 砂 日	時間 消散最大	黄砂消 散平均	SPM 最大	SPM 平均	相関係 数	傾き	切片	地点 黄砂 日	消 散 黄 砂 日	時間 消散最大	黄砂消 散平均	SPM 最大	SPM 平均	相関係 数	傾き	切片	地点 黄砂 日	消 散 黄 砂 日					
2008	4	26	24	0.067	0.012	66	42	0.589	347	38	●	○	23	0.064	0.035	47	33	0.266	136	28	●	○	22	0.206	0.019	66	28	0.407	159	25	●	○			
			24	0.331	0.142	91	55	0.915	203	27	●	○	14	0.537	0.325	51	38	0.272	20	31	●	○	23	0.372	0.085	27	11	-0.379	-30	14	●	○			
			24	0.091	0.063	79	45	0.089	111	38	●	○	24	0.516	0.221	52	29	0.241	28	22	●	○	24	0.093	0.067	66	20	0.496	543	-17	●	○			
			21	0.789	0.104	118	82	-0.548	-74	90	●	○	19	0.047	0.019	83	51	0.820	1297	26	●	○	24	1.483	0.158	40	11	0.239	6	10	●	○			
			21	0.159	0.105	83	65	-0.241	-55	70	●	○	23	0.080	0.031	80	55	0.473	187	49	●	○	24	0.039	0.027	56	38	0.031	65	37	●	○			
			21	0.089	0.027	79	55	0.192	135	52	●	○	15	0.053	0.026	63	43	0.752	495	30	●	○	22	0.095	0.033	45	18	0.039	24	17	●	○			
			21	0.112	0.052	38	25	0.363	72	21	●	○	17	0.196	0.059	46	28	0.650	135	20	●	○	24	0.602	0.049	46	15	0.380	46	13	●	○			
			21	0.284	0.138	59	36	0.678	99	22	●	○	14	0.247	0.113	59	39	-0.059	-13	41	●	○	17	0.822	0.122	63	17	0.004	0	17	●	○			
			21	0.232	0.157	63	37	0.570	167	11	●	○	23	0.851	0.140	58	31	0.644	49	24	●	○	24	0.965	0.190	63	35	0.487	36	28	●	○			
			22	0.729	0.203	64	41	-0.156	-11	44	●	○	19	0.312	0.087	41	22	0.354	40	19	●	○	21	0.064	0.028	45	11	0.046	46	10	●	○			
			16	0.057	0.019	37	20	0.530	325	13	●	○	24	0.117	0.068	36	23	0.962	221	8	●	○	24	0.116	0.048	68	22	0.909	578	-6	●	○			
			17	0.115	0.048	70	40	0.662	239	29	●	○	24	0.552	0.226	77	46	0.538	61	32	●	○	24	0.184	0.102	72	49	0.583	212	27	●	○			
2009	3	18	24	0.059	0.027	47	28	0.708	401	17	●	○	23	0.168	0.099	40	27	0.451	129	14	●	○	24	0.076	0.053	68	25	0.469	407	3	●	○			
			19	0.067	0.022	89	38	0.828	1019	15	●	○	23	0.239	0.044	77	21	0.913	278	9	●	○	22	0.239	0.073	77	33	0.463	486	-2	●	○			
			21	0.053	0.020	43	27	0.866	507	17	●	○	23	0.101	0.054	60	21	0.910	422	-2	●	○	9	0.101	0.167	60	60	-0.322	-148	11	●	○			
			22	0.080	0.044	61	47	0.237	89	43	●	○	24	0.088	0.055	33	21	0.850	278	6	●	○	19	0.088	0.092	33	36	-0.295	-82	12	●	○			
			26	0.105	0.062	114	69	0.966	973	9	●	○	24	0.252	0.148	64	42	0.878	144	21	●	○	19	1.214	0.428	64	79	-0.371	-18	30	●	○			
			13	0.385	0.030	69	40	-0.003	-1	40	●	○	24	0.486	0.071	37	17	-0.025	-2	17	●	○	12	0.486	0.193	37	44	0.517	37	7	●	○			
			16	0.215	0.084	130	57	0.943	609	5	●	○	23	0.183	0.098	50	22	0.934	282	-6	●	○	13	0.558	0.277	50	47	-0.324	-11	10	●	○			
			20	1.852	0.176	590	109	0.990	290	58	●	○	23	0.459	0.089	65	28	0.483	65	22	●	○	20	0.459	0.123	65	52	-0.103	-34	20	●	○			
			21	1.802	0.277	898	182	0.960	552	29	●	○	24	1.768	0.406	362	88	0.964	200	7	●	○	12	1.768	1.241	378	333	0.836	435	-29	●	○			
			2010	4	27	17	0.500	0.114	90	42	-0.108	-22	44	●	○	10	0.193	0.082	53	20	0.747	170	6	●	○	5	0.112	0.034	17	9	-0.831	-112	13	●	○
						30	0.103	0.054	76	39	0.889	500	12	●	○	24	0.088	0.051	33	22	0.505	161	14	●	○	22	0.099	0.021	40	23	0.560	241	18	●	○
						3	0.098	0.084	72	59	0.042	44	55	●	○	23	0.220	0.117	53	36	0.144	14	34	●	○	24	0.088	0.041	47	31	0.910	606	6	●	○
5	0.114	0.089				81	64	-0.590	-500	108	●	○	24	0.224	0.140	56	41	-0.164	-32	46	●	○	24	0.111	0.076	64	48	0.822	337	22	●	○			
5	0.105	0.067				69	51	0.760	266	33	●	○	24	0.216	0.160	65	43	-0.220	-54	51	●	○	24	0.121	0.094	59	49	-0.625	-245	72	●	○			
5	0.058	0.045				150	111	-0.466	-1143	163	●	○	24	0.089	0.059	132	88	0.502	720	45	●	○	10	0.210	0.027	93	62	-0.720	-301	70	●	○			
11	0.911	0.567				240	161	0.333	103	102	●	○	24	0.534	0.296	140	81	0.872	224	14	●	○	24	0.220	0.094	153	68	0.797	593	12	●	○			
11	0.673	0.339				172	127	0.070	9	124	●	○	24	0.364	0.282	98	74	-0.088	-13	78	●	○	23	0.230	0.136	133	75	0.467	157	53	●	○			
11	0.165	0.102				89	61	0.570	383	22	●	○	24	0.271	0.157	66	46	0.322	52	38	●	○	23	0.127	0.064	72	43	0.708	373	19	●	○			
12	0.152	0.054				110	49	0.929	585	17	●	○	24	0.189	0.063	53	23	0.694	205	10	●	○	21	0.689	0.120	49	14	0.685	53	8	●	○			
12	0.082	0.052				62	46	0.939	533	18	●	○	24	0.087	0.071	45	31	0.378	216	16	●	○	22	0.156	0.025	37	17	0.414	136	14	●	○			
3	0.096	0.038				75	33	0.805	491	14	●	○	18	0.051	0.023	21	11	0.760	211	6	●	○	22	1.367	0.172	24	15	-0.412	-7	16	●	○			

2008～2010年度において長崎、松江、富山で観測された気象台黄砂日は合計で延べ53日である。これらの日における相関係数の頻度分布を図6-1に示している。相関係数が0.4以下は全体の約25%であり、0.6以上の割合は60%近くになり概ね高い相関関係を示している。図6-2に、非常に大規模な黄砂が飛来した2010年3月20～22日の長崎・松江・富山での黄砂消散係数の経時変化と、地点毎のSPM時間値との同時変化を示している。これらのことは、黄砂消散係数とSPM濃度の時間変化の同時性をみることによって、黄砂の飛来判定ができる可能性を示唆している。

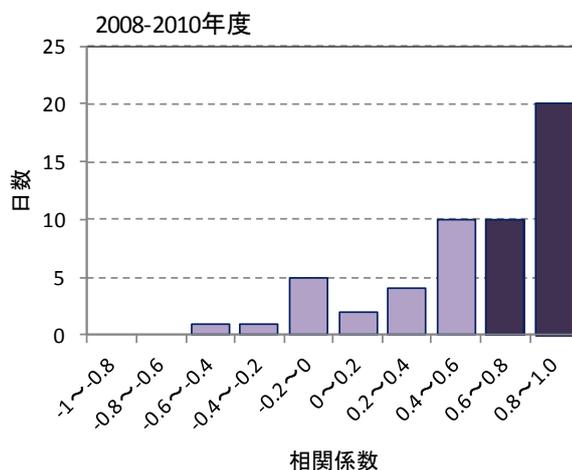


図6-1 地点別黄砂日における黄砂消散係数とSPM濃度間の相関係数の頻度分布

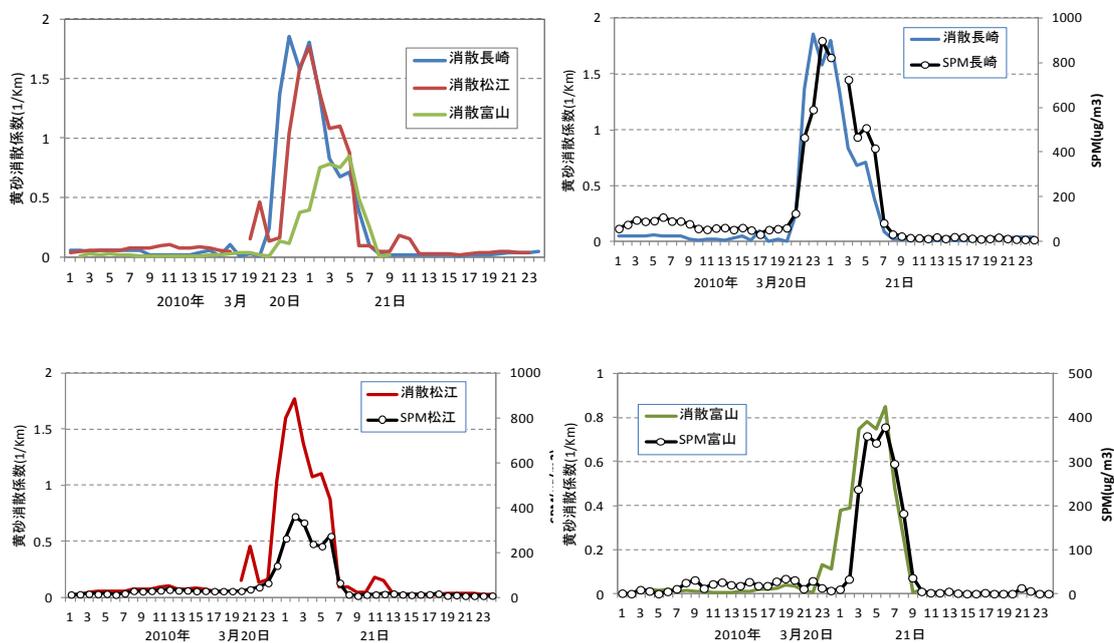


図6-2 2010年3月20～21日の3地点における黄砂消散係数の経時変化と各地点毎の黄砂消散係数とSPM濃度との経時変化

### 6.3 気象台黄砂日以外の黄砂消散係数と SPM 濃度の関係

気象台黄砂日における黄砂消散係数と SPM 濃度の変化には、ある程度、相関関係があることが確認できたため、3 年間の全日（1095 日）について、24 時間単位で黄砂消散係数 1 時間平均値と SPM 濃度時間値の相関係数及び回帰式（傾き、切片）を計算した。

相関係数の頻度分布を図 6-3 に示す。3 地点合計で 1 日 20 時間以上のデータが揃っているのは延べ 1932 日である。0 付近を中心とした分布となっており、0.8 以上 5%、0.6 以上 11%、0.4 以上 25%の割合である。

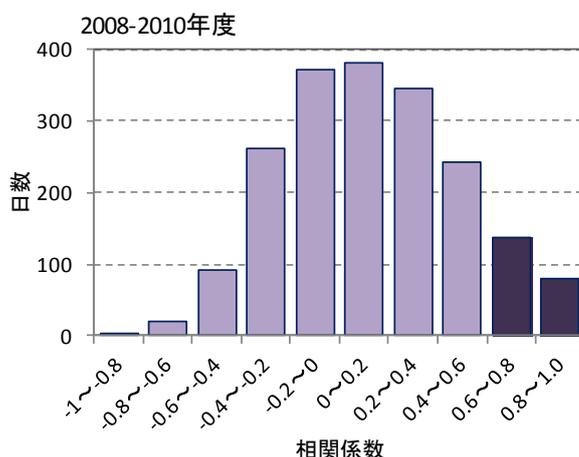


図 6-3 相関係数の頻度分布（3 地点合計）

この中から、次の条件に合致するものを抽出し、黄砂飛来の検討を行った。

- ① 1 日のデータが 20 時間以上揃っていること
- ② 黄砂消散係数と SPM 濃度時間値との相関係数が 0.6 以上であること
- ③ SPM 濃度の日最大値が  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以上であること
- ④ 黄砂消散係数が  $0.05/\text{km}$  以上であること

黄砂消散係数は、雲などの影響を排除して計算されるため欠測データが多いこともあり、ある程度の連続性を確保するために、件数を 20 時間以上と設定した。

標本数 20 での相関係数の 1% 有意水準は 0.56 であることから、相関係数の条件は 0.6 以上とした。

基準の濃度については、気象台黄砂日の SPM 濃度の値を参考にした。2009 年度での気象台黄砂日の観測県における SPM 濃度最大値の県平均は、 $31\sim 93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （異常に高かった 2010 年 3 月 20~24 日を除く）で平均は  $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  である。このことから、目視できる黄砂のレベルにあわせて SPM 濃度は  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以上とした。

黄砂消散係数は、低い値では誤差の可能性もあり、黄砂日の最低値が、長崎  $0.059/\text{km}$ 、松江  $0.047$ 、富山  $0.076/\text{km}$  と概ね  $0.05/\text{km}$  付近であることから、係数の基準を  $0.05/\text{km}$  以上とした。

以上の条件で抽出した日（以下ライダー黄砂日）と気象台黄砂日の関係を、長崎、松江、富山の 3 地点で比較したものを図 6-4 に示す。気象台黄砂日は 3 地点で 33 日あり、ライダー黄砂日と重なっているのは 18 日である。気象台黄砂日ではなく、ライダー黄砂日となっているのが 34 日で、このうち、日本全体での気象台黄砂日（表 6-1）に該当しない 28 日を、表 6-2 に示す。長崎が最も多く 14 日、松江は 12 日、富山は 3 日の日数となった。

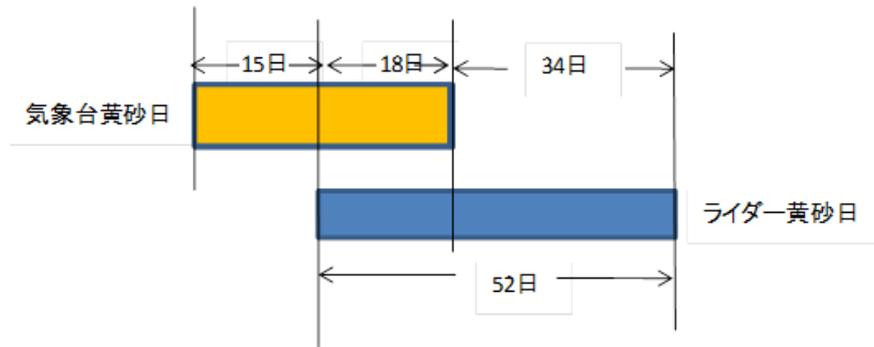


図 6-4 气象台黄砂日とライダー黄砂日の日数の比較 (2008~2010 年度合計)

表 6-2 黄砂消散係数と SPM 濃度時間値の相関による黄砂日 (气象台黄砂日以外)

年度	年	月	日	地点	時間数	黄砂消散最大	黄砂消散平均	SPM 最大	SPM 平均	相関係数	傾き	切片
2008	2008	4	30	富山	24	0.056	0.039	77	31.7	0.696	1225	-17
	2008	5	18	松江	23	0.111	0.057	82	35.7	0.625	495	8
	2008	5	22	松江	24	0.157	0.066	88	46.3	0.921	456	16
	2008	6	9	松江	23	0.154	0.047	56	33.3	0.657	177	25
	2008	9	18	松江	20	0.063	0.025	56	21.4	0.662	593	6
	2008	11	2	長崎	24	0.093	0.018	68	40.0	0.693	364	33
	2008	11	5	松江	24	0.063	0.037	60	21.2	0.782	1170	-22
	2008	12	10	富山	24	0.163	0.071	80	22.2	0.823	295	1
	2008	12	30	長崎	24	0.059	0.020	64	26.6	0.911	952	8
2009	1	19	長崎	23	0.087	0.027	113	53.5	0.853	1417	15	
2009	2009	5	20	松江	24	0.073	0.059	78	35.6	0.756	1959	-80
	2009	6	2	松江	24	0.251	0.081	59	33.3	0.815	216	16
			富山	21	0.251	0.119	66	57.0	0.656	1060	-9	
	2009	6	26	松江	24	0.105	0.055	52	31.3	0.866	394	10
	2009	10	17	長崎	24	0.065	0.019	72	38.7	0.784	501	29
	2009	10	30	松江	24	0.060	0.038	72	35.5	0.717	975	-1
	2009	12	30	長崎	21	0.097	0.030	86	34.3	0.629	500	20
	2010	1	29	長崎	24	0.051	0.034	73	52.3	0.864	902	21
2010	2	18	長崎	23	0.118	0.018	82	24.0	0.695	515	15	
2010	3	19	長崎	24	0.051	0.017	60	28.1	0.774	611	18	
2010	2010	11	11	長崎	22	0.256	0.050	148	51.5	0.686	253	39
	2010	12	1	松江	24	0.054	0.037	55	21.3	0.847	1504	-35
	2010	12	6	長崎	24	0.057	0.013	66	25.2	0.913	933	13
	2010	12	18	長崎	24	0.076	0.058	57	44.4	0.836	387	22
	2011	2	4	松江	24	0.108	0.051	85	50.4	0.602	594	20
	2011	2	5	長崎	22	0.102	0.071	103	68.5	0.892	665	21
	2011	2	6	長崎	24	0.108	0.059	93	74.4	0.640	257	59
	2011	2	7	松江	22	0.058	0.024	91	47.8	0.861	1229	19
2011	2	25	長崎	20	0.216	0.063	66	38.0	0.709	188	26	

气象台黄砂日以外で黄砂の飛来の可能性がある 2008~10 年度の 28 日について、黄砂の飛来の可能性を検証し、その結果を表 6-3 に一覧で示している。また、事例として、2008 年 5 月 22 日の天気図、砂塵嵐発生状況、SPM 濃度全国分布図、後方流跡線、黄砂消散係数と SPM 時間値の経時変化をまとめて図 6-5 に示した。ライダー黄砂日での 28 日間は、一部の条件を満たしていない項目もあるが、おおむね黄砂の様相を呈していた。

この事例群で特徴的なことは、SPM 濃度上昇が夜間や早朝に集中しており(28 日中 21 日)、目視によって黄砂を観測することが難しい時間帯であったことである。このように、黄砂全体の把握には、气象台が発表する黄砂日に加えて、ライダーを使った黄砂日の検出の方法も加えて解析の対象とすることも有効であると思われる。

表 6-3 ライダー黄砂日の黄砂飛来の検証

年	月	日	SPMピーク時間	検証項目			
				気圧配置	後方流跡線	CFORS	SPM分布
2008	4	30	14時	○ 移動性高気圧	△ 国内	◎ 中国北部 強 全体	○ 全国
2008	5	18	13時	○ 遠くに前線	○ 韓国	○ モンゴル 中 全体	◎ 西日本
2008	5	22	24時夜	○ 移動性高気圧	○ 中国北部	◎ 中国北部 強 北部	◎ 全国
2008	6	9	4時夜	◎ 南岸に前線	○ 遼東半島方面	◎ 中国中部 弱 北部	○ 西日本
2008	9	18	8時	○ 移動性高気圧	× 国内	○ モンゴル 弱 北海道	△ 上昇少ない
2008	11	2	24時夜	○ 南に前線	◎ 中国中央部	◎ 中国北部 強 北部	○ 九州
2008	11	5	19時夜	○ 移動性高気圧	◎ モンゴル	◎ 中国北部 強 全体	◎ 九州
2008	12	10	18時夜	◎ 南に前線	◎ モンゴル	◎ 中国中部 弱 北部	◎ 東日本
2008	12	30	6時夜	◎ 南に前線	◎ モンゴル	× なし	◎ 九州
2009	1	19	4時夜	◎ 南に前線	◎ モンゴル	○ 上海 弱 九州	◎ 九州
2009	5	20	21時夜	◎ 南に前線	○ 上海	◎ モンゴル 強 全体	◎ 全国
2009	6	2	20時夜	◎ 移動性高気圧	○ 遼東半島	◎ モンゴル 弱 全体	◎ 山陰・北陸
2009	6	26	23時夜	◎ 南に前線	○ 遼東半島	◎ モンゴル 強 全体	◎ 全国
2009	10	17	19時夜	◎ 南に前線	○ 上海	◎ モンゴル 強 九州	◎ 九州
2009	10	30	20時夜	◎ 東に前線	◎ モンゴル	◎ モンゴル 強 北部	◎ 西日本
2009	12	30	16時	◎ 前線接近	◎ モンゴル	○ 遼東半島 弱 九州	◎ 九州・山陰
2010	1	29	17時	◎ 南東沖に前線	◎ モンゴル	△ 韓国 弱 九州	◎ 九州、山陽
2010	2	18	10時	◎ 南に前線	◎ モンゴル	○ モンゴル 弱 九州	◎ 北部九州
2010	3	19	24時夜	◎ 東に前線	◎ モンゴル	◎ 中国中部 強 全体	◎ 九州西岸
2010	11	11	5時夜	○ 移動性高気圧	◎ モンゴル	◎ 中国中南部 強 西部	◎ 西日本
2010	12	1	19時夜	◎ 南に前線	◎ モンゴル	◎ モンゴル 強 北部	○ 全国
2010	12	6	20時夜	○ 移動性高気圧	◎ モンゴル	○ 中国南部 弱 北部	◎ 九州
2010	12	18	6時夜	○ 移動性高気圧	◎ モンゴル	△ モンゴル 小 なし	△ 上昇少ない
2011	2	4	19時夜	○ 移動性高気圧	○ 青島	× なし	◎ 西日本
2011	2	5	19時夜	◎ 南に前線	○ 遼東半島	× なし	◎ 全国
2011	2	6	9時	△ 移動性高気圧	○ 遼東半島	× なし	◎ 全国
2011	2	7	4時夜	◎ 東に前線	○ 北朝鮮	× なし	◎ 西日本
2011	2	25	19時夜	◎ 東に前線	◎ モンゴル	× モンゴル 小 なし	◎ 九州

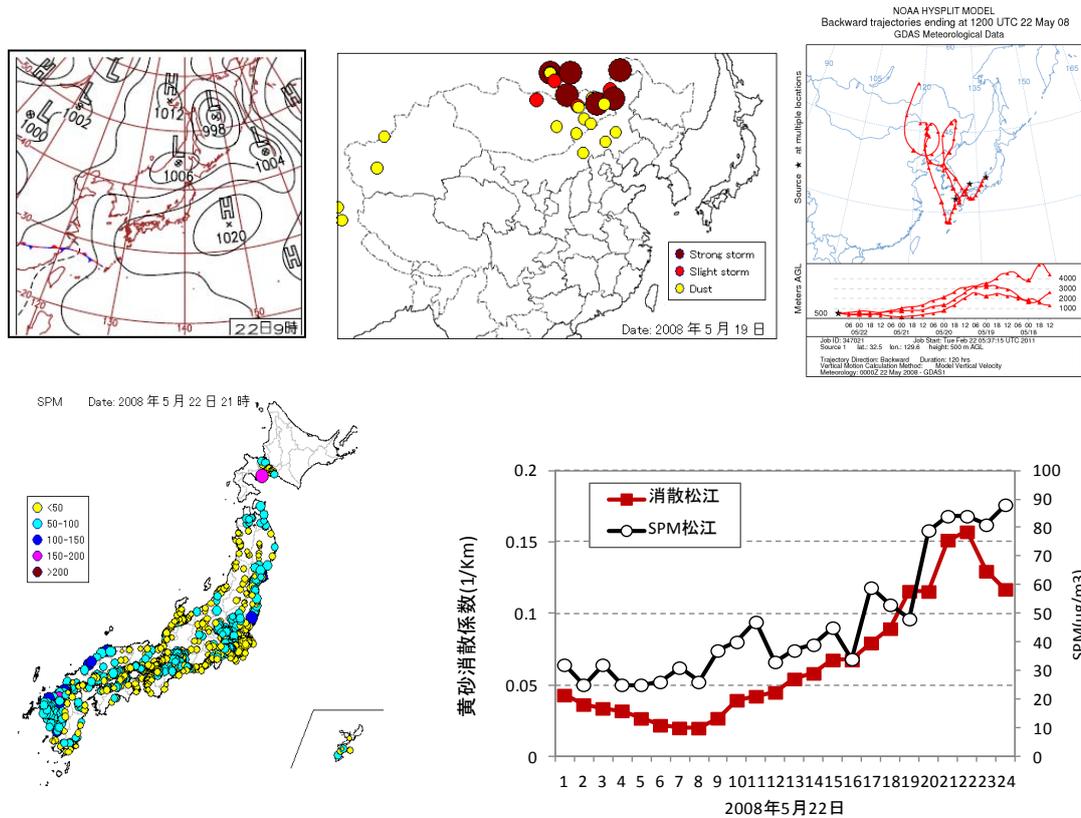


図 6-5 ライダー黄砂日の飛来状況事例 (2008 年 5 月 22 日)