

図 7-3-2 に PMF で出力される各寄与濃度の平均組成を、図 7-3-3 にサンプル毎の寄与濃度を示している。平均では、二次硫酸塩、バイオ・自動車の寄与割合が高いこと、サンプルによって寄与の程度が異なっていることが分かる。

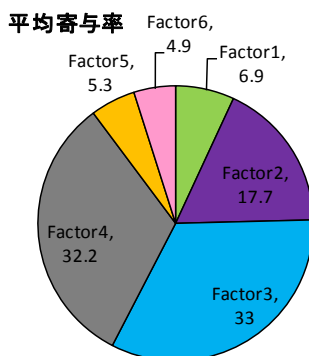


図 7-3-2 PMF 法による各因子の発生源寄与

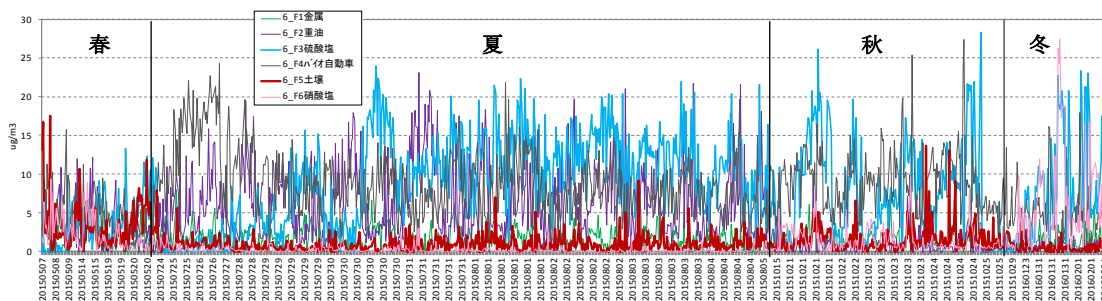


図 7-3-3 PMF 法による各因子の発生源寄与

図 7-3-4 に、黄砂日である 5 月 7～9 日の北海道と青森、5 月 19～20 日の島根、6 月 11～14 日の福岡での発生源寄与をそれぞれ示した。特に、5 月 7～9 日の北海道・青森で土壌の割合が高くなっているのが顕著である。

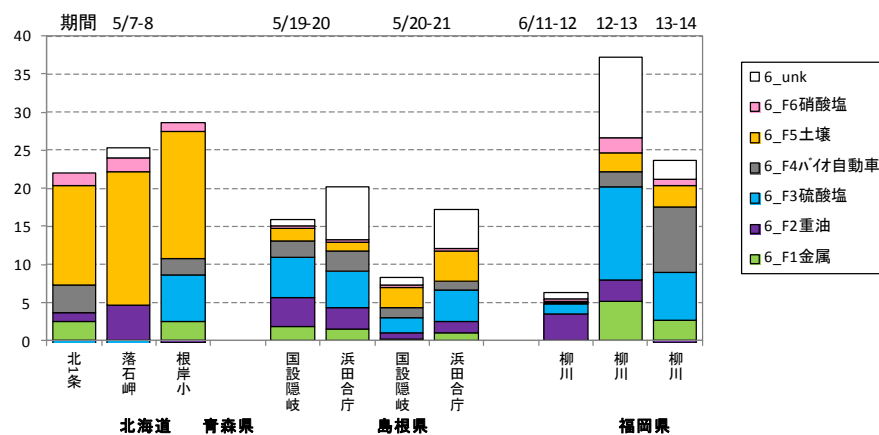


図 7-3-4 黄砂時の日毎・地点毎の発生源寄与濃度

煙霧時の寄与濃度については、PM_{2.5}を濃度ランクに分けて、その平均寄与濃度を図7-3-5に示している。PM_{2.5}濃度範囲別の件体数は、0~10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 54件、10~20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 243件、20~35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 596件、>35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超 164件である。濃度が上昇する毎に、二次硫酸塩の割合が高くなっている様子がみられる。

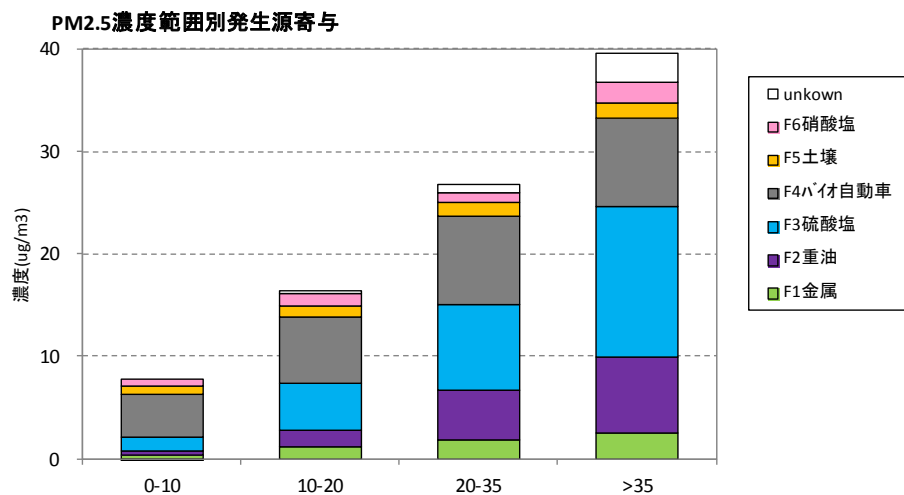


図7-3-5 煙霧時・PM_{2.5}濃度範囲別の発生源寄与濃度

8. 黄砂の分類

黄砂は、その発生状況や気流によって、日本へ飛来してくる際には様々な様相を呈し、健康へ与える影響も異なってくる事が考えられることから、個々の黄砂の特徴を明らかにすることは重要である。過去の黄砂事例を解析する過程で、黄砂を特徴づける要素について把握することが可能になってきた。ここでは、過去の事例解析をもとに、黄砂を分類する方法について検討を行った³⁸⁾。

分類の主要な目的は、黄砂であることの確認、大きさ、汚染質の混在とその程度である。解析対象は气象台で観測された黄砂が中心となるが、黄砂と同様に視程の悪化を招き、さらに中国大陸からの越境汚染の影響も懸念される煙霧も加えた。

黄砂の要素として収集するのは次の9項目である。この中で、青字は定性的に分類するもの、赤字は定量的に分類できるものを示している。

- ①気圧配置、 ②砂塵嵐の発生、 ③後方流跡線の軌跡、 ④CFORS (dust)による予測、
- ⑤黄砂観測地点、 ⑥ライダー黄砂消散係数、 ⑦SPM濃度の地域の上昇
- ⑧SPM最大濃度、 ⑨PM_{2.5}/SPM比

大気汚染質の要素としては、次の5項目である。

- ①煙霧観測地点、 ②硫酸イオン濃度、 ③PM_{2.5}/SPM比、 ④後方流跡線の軌跡
- ⑤CFORS (sulfate)の予測

これらの要素について、定性的な項目については、◎、○、△、×の4段階に、定量的要素は7段階に分けて点数化する。以下、それぞれの判断基準について項目毎に詳述する。

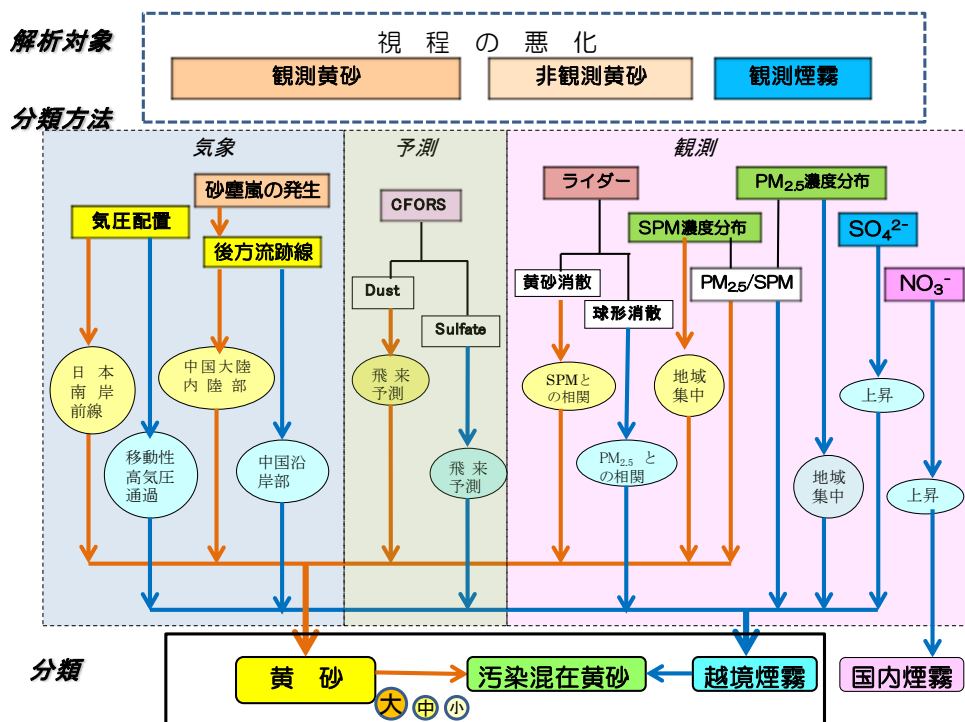


図 8-1 黄砂分類の手順

表 8-1 に示すように、数値をもとに分類するもの 6 項目、図から分類するもの 7 項目について、それぞれ満点を 6 として点数化する。項目名には、黄砂に関連するものは黄、大気汚染に関連するものは青、両方に関連するものは緑で色分けしている。

平成 27(2015)年度の黄砂事例を項目毎に点数化し、黄砂項目と大気汚染項目に分けて合計点数を算出する。さらに合計点数を満点で除し、それぞれの指数とする。この指数が典型的な黄砂の状況との差、及び汚染質混在の影響の大きさの程度を測る目安になる。

これらの結果を表 8-2 に示す。黄砂関連項目の合計値と大気汚染関連項目の指数を、事例毎に図 8-2 に示している。事例毎に、黄砂様相を明確に示しているものとそうでないもの、また混在の程度と黄砂との強度の違いなどをみることが出来る。

さらに、図 8-3 に個々の事例での特徴を明らかにするために、事例毎にチャートを作成した。この図から、黄砂の明確さとその特徴がわかり、また混在の程度も比較・対照できる。

表 8-1 各項目の点数化一覧表

項目名	点 数						
	6	5	4	3	2	1	0
P 地点数	>30	20-30	15-20	10-15	5-10	0-5	0
P SPM濃度	>300	200-300	150-200	100-150	50-100	0-50	0
P PM2.5/SPM	<0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	0.7-0.8	0.8-0.9	>0.9
P 煙霧地点数	>30	20-30	15-20	10-15	5-10	0-5	0
P PM2.5/SPM混	>0.9	0.8-0.9	0.7-0.8	0.6-0.7	0.5-0.6	0.4-0.5	<0.4
P 硫酸イオン	>30	25-30	20-25	15-20	10-15	5-10	0

項目名	点 数						
	6		4		2		0
P 気圧配置	◎		○		△		×
P 砂塵嵐	◎		○		△		×
P 後方流跡線	◎		○		△		×
P SPM分布	◎		○		△		×
P CFORS(d)	◎		○		△		×
P ライダー係数	◎		○		△		×
P CFORS(s)	◎		○		△		×

表 8-2 2015 年度黄砂の点数評価

評価	期 間	気圧配置	砂塵嵐	後方流跡線	CFORS(d)	黄砂地点数	SPM濃度	SPM分布	ライダー係数	PM2.5/SPM	煙霧地点数	後方流跡線混	CFORS(s)	硫酸イオン
	20150417-18	◎	◎	◎	○	9	90	△	◎	0.59	7	○	○	4
20150425	◎	△	◎	△	2	54	△	○	0.75	6	○	○	14	
20150505-07	◎	○	◎	△	10	105	○	○	0.5	0	△	○	9	
20150520	◎	△	◎	○	1	38	△	○	0.8	8	○	○	14	
20150612-13	◎	○	◎	◎	17	190	○	○	0.5	7	◎	◎	14	

点数化	期 間	P_気圧配置	P_砂塵嵐	P_後方流跡線	P_CFORRS(d)	P_黄砂地点数	P_ライダー係数	P_SPM分布	P_SPM濃度	P_PM2.5/SPM	P_煙霧地点数	P_硫酸イオン	P_PM2.5/SPM混	p_後方流跡線混	P_CFORRS(s)
	20150417-18	6	6	6	4	2	6	2	2	2	4	2	3	2	4
20150425	6	2	6	2	1	4	2	1	2	2	2	3	4	4	4
20150505-07	6	4	6	2	3	4	4	3	4	0	2	2	2	2	4
20150520	6	2	6	4	1	4	2	0	1	2	3	5	4	4	4
20150612-13	6	4	6	6	4	4	4	4	4	4	2	3	2	6	6

集計	期 間	黄砂指数	混在指数	黄砂指数%	混在指数%	黄砂/混在
	20150417-18	38	13	70.4	43.3	1.62
20150425	26	17	48.1	56.7	0.85	
20150505-07	36	10	66.7	33.3	2.00	
20150520	26	18	48.1	60.0	0.80	
20150612-13	42	19	77.8	63.3	1.23	

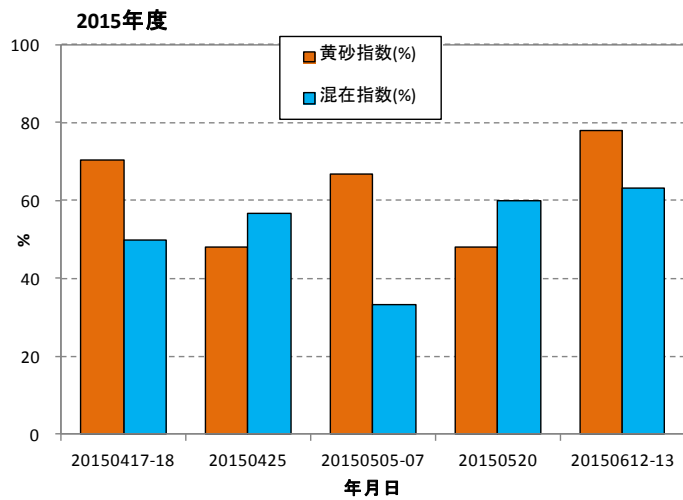


図 8-2 2015 年度黄砂の事例毎の評価指数

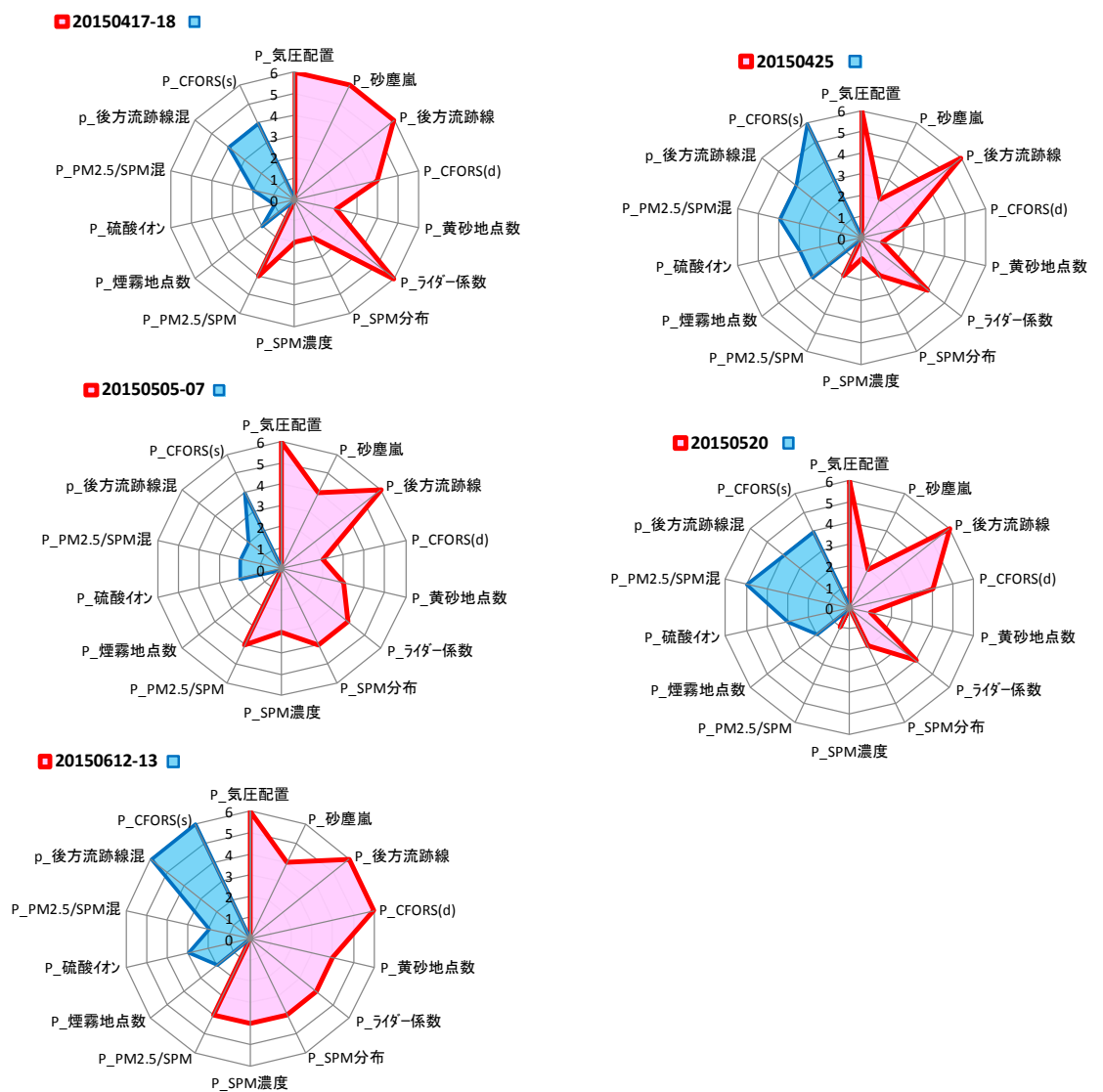


図 8-3 2015 年度黄砂のチャート

9. 砂塵嵐の発生と黄砂の観測

9.1 砂塵嵐発生状況の経年変化

日本での黄砂の観測は年によって増減がみられ、図 9-1-1 に示すように、近年は比較的少ない傾向にある。日本への黄砂の飛来は、中国大陸砂漠地帯での砂塵嵐の発生と、その粉じんを日本へ運ぶ気流に影響される^{31,32)}。そこで、砂塵嵐の発生と日本への大気の流れを経年的に検討した。

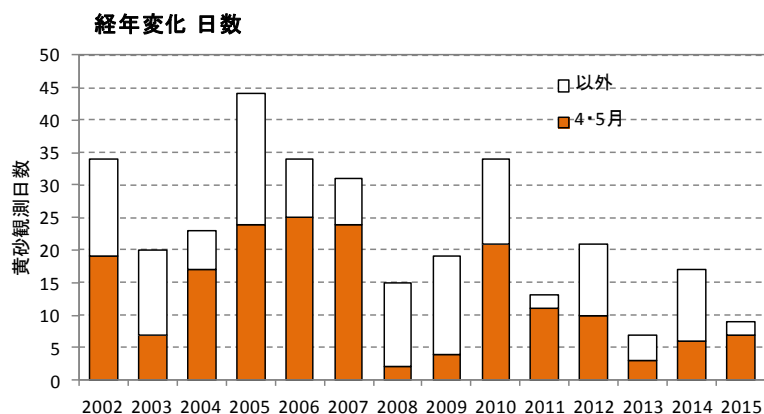


図 9-1-1 日本における黄砂観測日数の経年変化 (2002～2015 年度)

図 9-1-1 に示すように、日本における黄砂観測は、4・5月に多い。図 9-1-2 には、この期間の月別の観測日数を示しているが、この2ヶ月で全体の約6割(182日)を占めている。

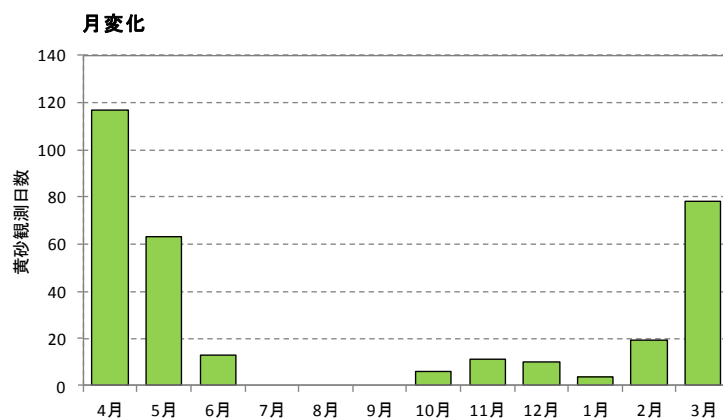


図 9-1-2 日本における黄砂観測日数の経月変化 (2002～2015 年度)

砂塵嵐の発生状況は、表 9-1-1 に示す世界気象資料での「Severe duststorm or sandstorm」(code:33~35)と「Slight or moderate duststorm or sandstorm」(code:30~32)が対象となる。

表 9-1-1 世界気象資料での砂塵嵐等の表示

●	Severe duststorm or sandstorm
	33 - has decreased during the preceding hour
	34 - no appreciable change during the preceding hour
	35 - has begun or has increased during the preceding hour
●	Slight or moderate duststorm or sandstorm hour
	30 - has decreased during the preceding hour
	31 - no appreciable change during the preceding hour
	32 - has begun or has increased during the preceding hour
●	Haze, dust, sand or smoke
	07 Dust or sand raised by wind at or near the station at the time of observation, but no well-developed dust the case of ships, blowing spray at the station whirl(s) or sand whirl(s), and no duststorm or sandstorm seen; or, in
	08 Well-developed dust whirl(s) or sand whirl(s) seen at or near the station during the preceding hour or at the time of observation, but no duststorm or sandstorm
	09 Duststorm or sandstorm within sight at the time of observation, or at the station during the preceding hour
●	04 Visibility reduced by smoke, e.g. veldt or forest fires, industrial smoke or volcanic ashes
●	05 Haze
●	06 Widespread dust in suspension in the air, not raised by wind at or near the station at the time of observation

図 9-1-3 に、アジア中央域（北緯 25° ~55° ,東経 75° ~150° の範囲）での砂塵嵐観測の経月変化を 2010 年度のデータで示している。日本への黄砂飛来の時期と重なり、4~5 月が圧倒的に多い。

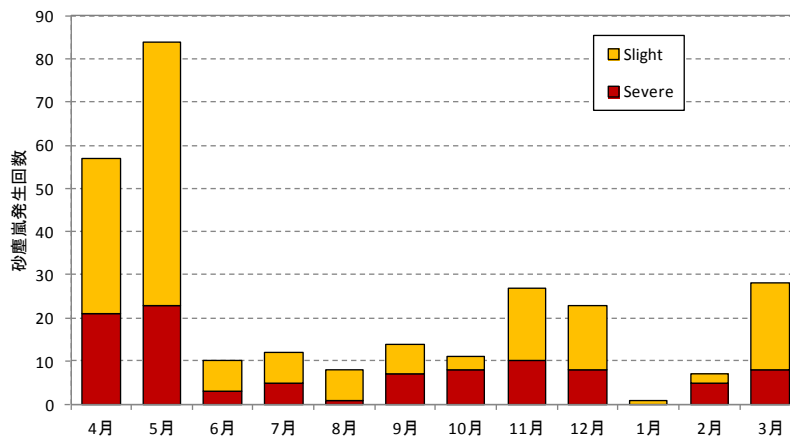


図 9-1-3 アジア中央部における砂塵嵐発生回数 (2010 年度)

図 9-1-4 には、2010 年度の年間の砂塵嵐 (Severe & Slight) の(観測の回数/地点数)を地図上 (北緯 35° ~55° 、東経 80° ~120°)で示している。タクラマカン砂漠、ゴビ砂漠、内モンゴルでの発生頻度が高いことが分かる。

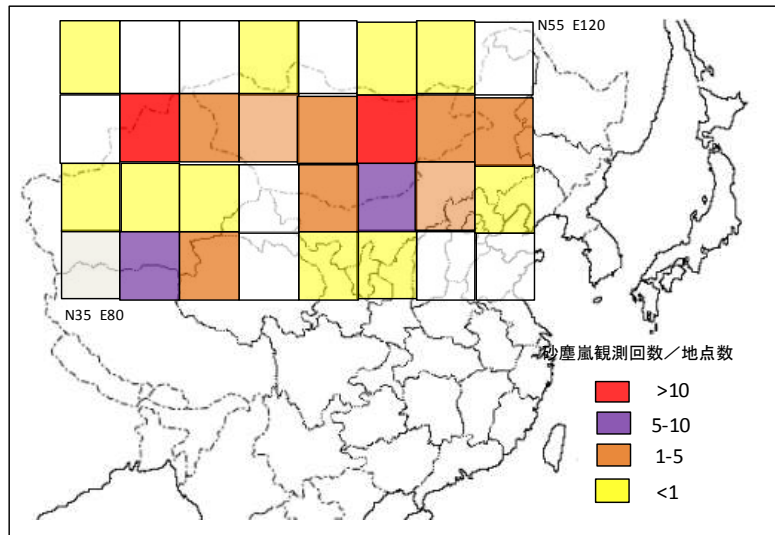


図 9-1-4 アジア中央部における砂塵嵐発生地域（2010 年度）

以上のように、砂塵嵐発生、日本への黄砂飛来ともに4～5月が多いことから、2002～2015年度の4、5月を対象として集計し、経年的な変化をみた。

図 9-1-5 は、2002 年から 2015 年の 4・5 月について、砂塵嵐の観測日数を地点別に多い順に示したグラフである。モンゴルでの発生が上位になっている。

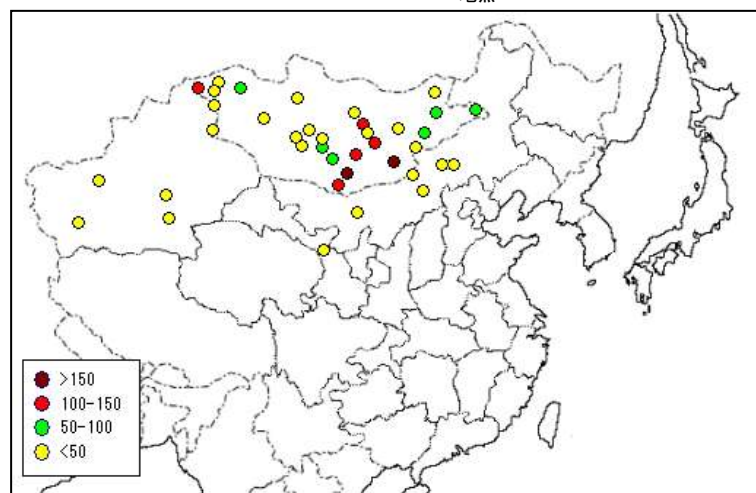
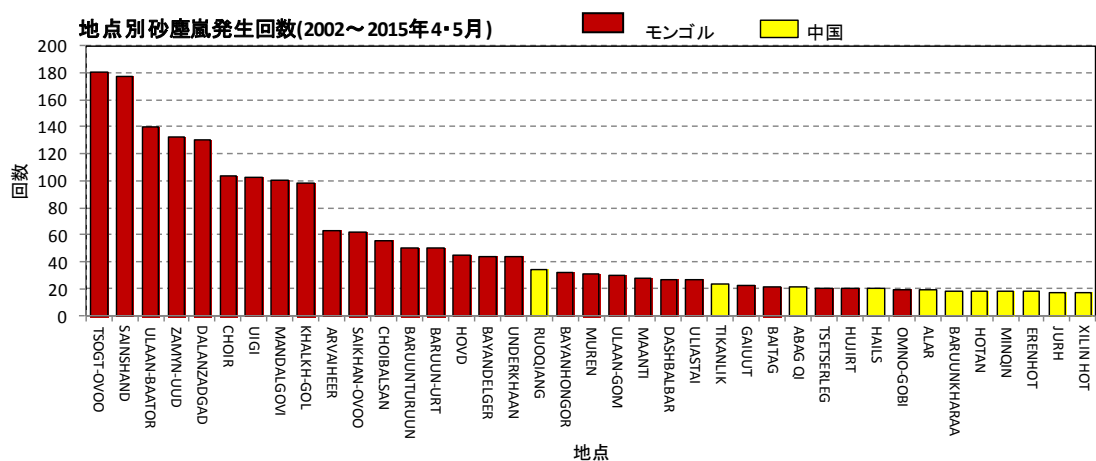


図 9-1-5 観測地点別の砂塵嵐発生日数（2002～2010 年度）

図 9-1-6 に、2002～2015 年の 14 年間の 4・5 月の 1 日毎の砂塵嵐発生状況を重ねて示している。2013 年、2015 年にやや少ない印象であるが、全体としては大きな違いはみられない。

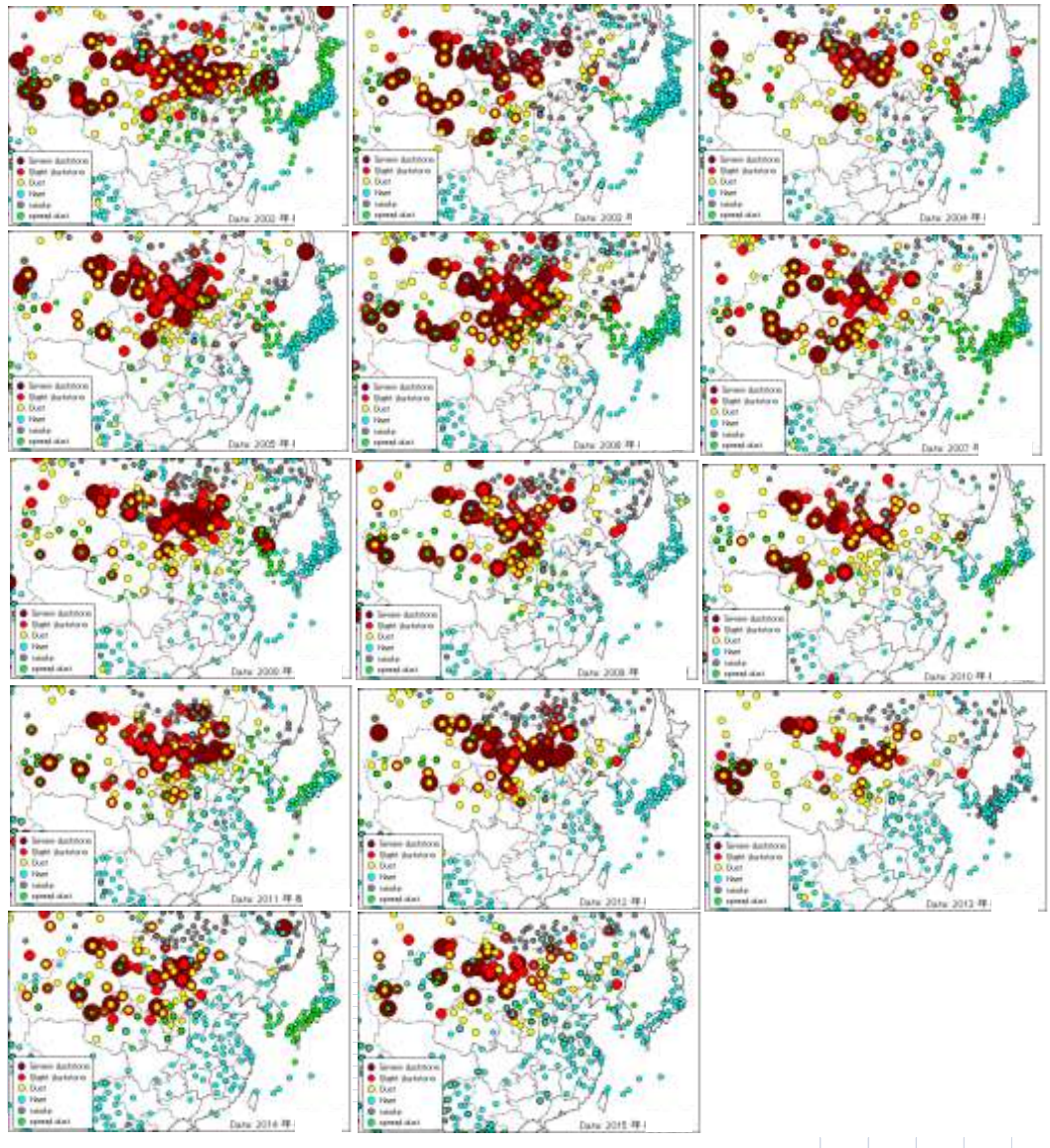


図 9-1-6 中国大陸での年毎の砂塵嵐発生集計（4 月、5 月）

図 9-1-7 は、年毎の Severe duststorm と Slight duststorm がいずれかの地点で発生した日数をまとめたものである。併せて日本のいずれかの地点で黄砂が観測された日数を折れ線で示している。全体的には比較的対応しているように見えるが、2008 年、2009 年のように砂塵嵐発生日数が例年と大きく変わらないにもかかわらず、日本での黄砂観測日数は極端に減少しているケースもみられる。2011 年以降は、砂塵嵐の発生日数は大きな変化はないが、日本での黄砂の観測日数には違いがみられる。

図 9-1-8 には、両者の散布図を示している。砂塵嵐発生日数と日本での黄砂観測には概ね良好な相関関係 ($r=0.687$) がみられ、特に Severe duststorm との関連が大きいようである。

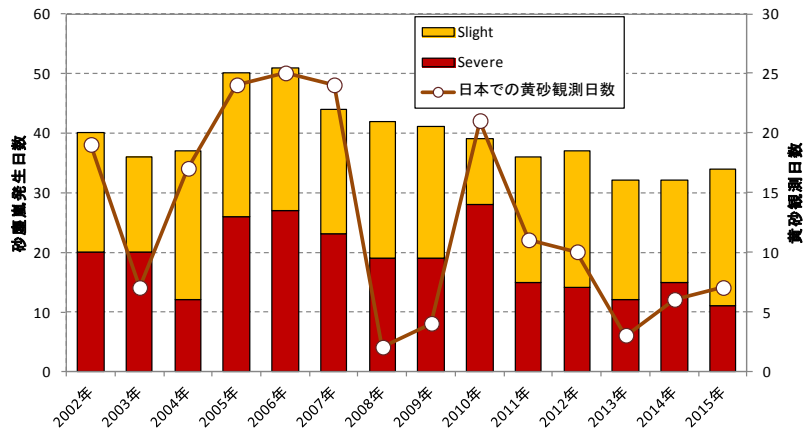


図 9-1-7 砂塵嵐発生日数と日本での黄砂観測日数の推移

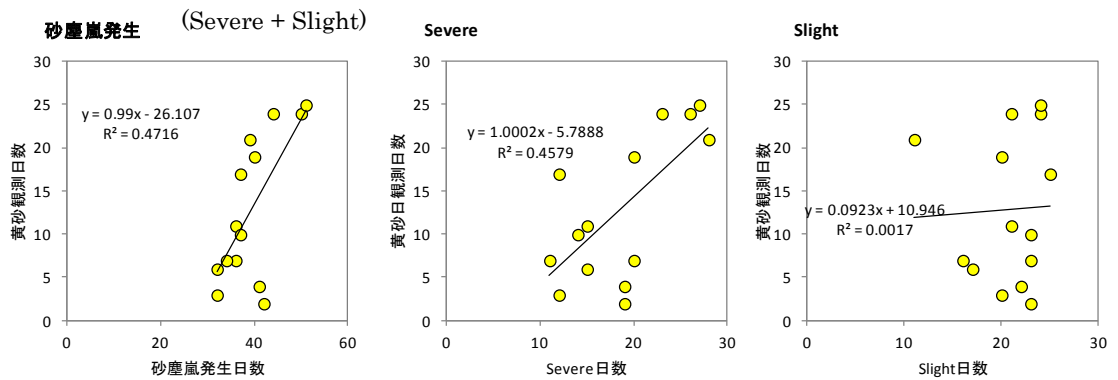


図 9-1-8 砂塵嵐発生日数と日本での黄砂観測日数の散布図

図 9-1-9 には、日本で 2002～2015 年 4・5 月に黄砂が観測された日（182 日）の 2 日前の砂塵嵐観測をメッシュ別に色分けしている。日本での黄砂に大きく影響を及ぼす地域が絞られてくる。

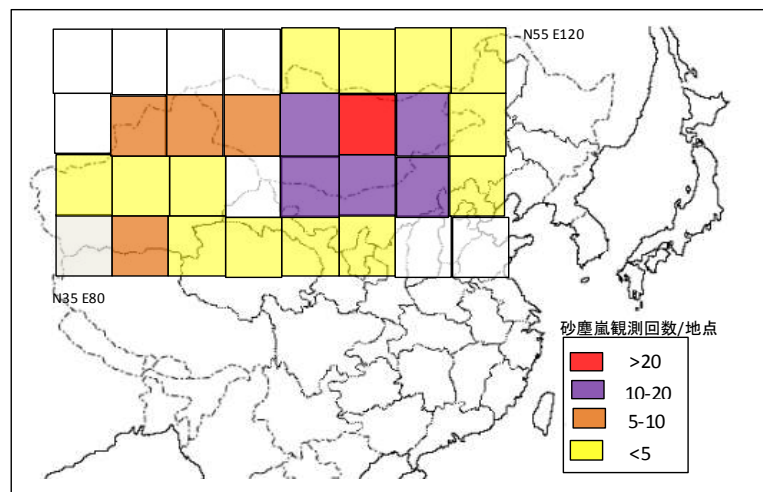


図 9-1-9 日本で黄砂観測日の 2 日前のメッシュ別 砂塵嵐地点当たり観測回数

9.2 後方流跡線方位の経年変化

黄砂の発生状況は同じようでも、日本での黄砂観測日数には違いがみられることから、日本への大気の流れを集約した。日本の大気の流れを全体としては把握するのは難しいことから、ここでは、黄砂の観測が日本の中でも多い福岡での後方流跡線の軌跡を、一例として示した。

図 9-2-1 は、福岡で黄砂が観測された日（66 日）の後方流跡線（3 時間毎）を年毎に重ねたものである。なお、2008 年、2009 年、2011 年、2012 年は 4・5 月には福岡で黄砂は観測されていない。全体を通して、ほぼ砂塵嵐発生地域からのもので占められていることが分かる。

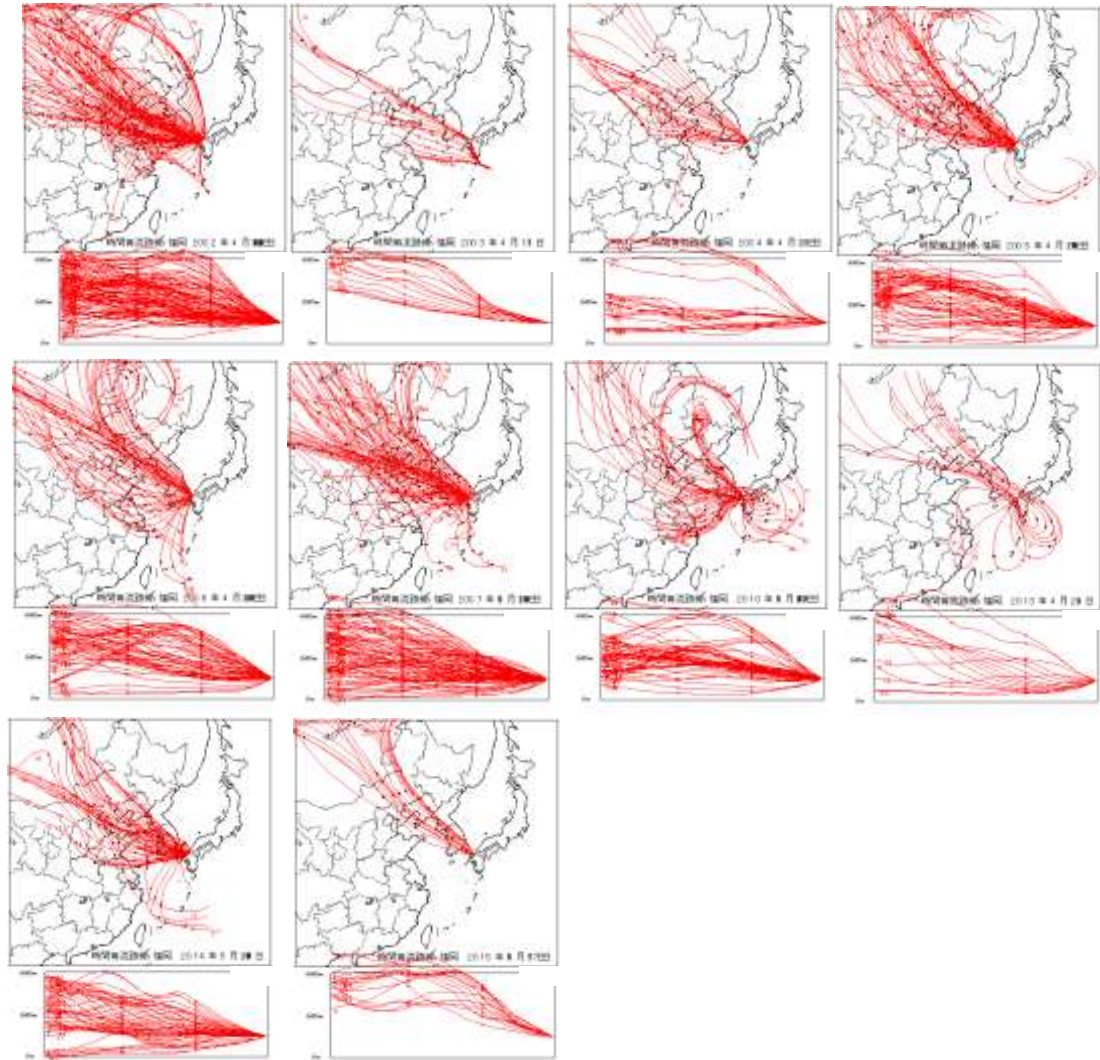


図 9-2-1 福岡での黄砂観測時の後方流跡線の集計（4 月、5 月）

図 9-2-2 には、4 月～5 月に後方流跡線が福岡を起点として、72 時間で北緯 35° ～50°、東経 75° ～120° の範囲を通過した日を黄砂の観測日数とともに、経年で示している。日本全体での黄砂観測日数とは対応している様子がみえる。

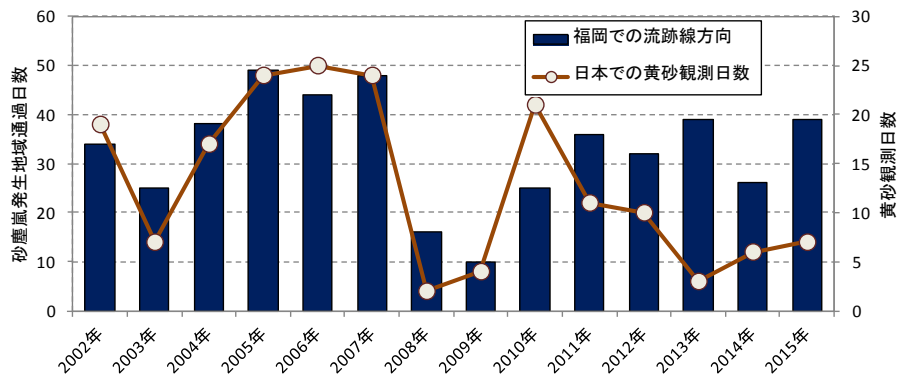


図 9-2-2 日本での黄砂観測日数と後方流跡線大陸方向日数（福岡）の推移

福岡で観測された黄砂が主にどの地域からの影響によるかを推定するために、2002～2015 年 4・5 月に黄砂が観測された日の後方流跡線の 48～72 時間前の通過日数をメッシュ毎に集計した。図 9-2-3 に、観測地点別の砂塵嵐観測回数を表示した地図上にメッシュを重ね表示している。モンゴル西部、南部、内モンゴル付近からの通過日数が多く砂塵嵐の発生が多い地点とほぼ重なっている。

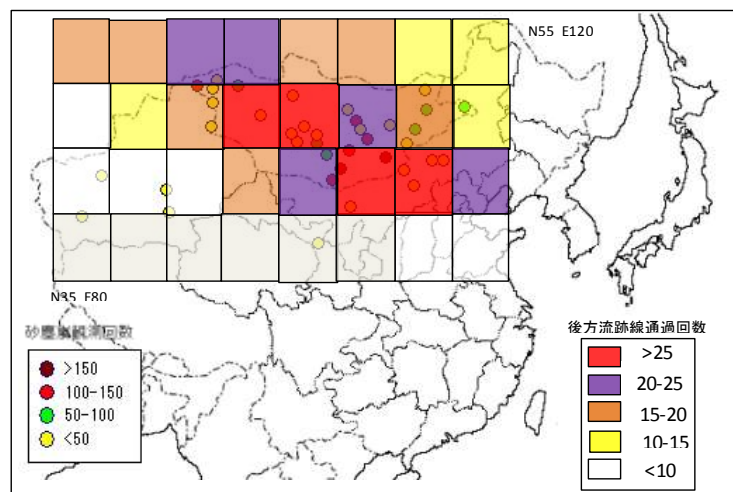


図 9-2-3 福岡での黄砂観測日 48～72 時間前のメッシュ別後方流跡線通過日数

9.3 砂塵嵐発生時の個別の状況

砂塵嵐の発生日数及び気流の頻度と黄砂観測日数には、長期間では関連がみられるようであるが、砂塵嵐発生と日本での黄砂観測の関係は大きく異なる年も多い。そこで、日毎の状況を表 9-3-1 にまとめた。

表は、日毎に、砂塵嵐は大規模の Severe duststorm●、小さな規模の Severe◎、Slight○、流跡線は福岡での後方流跡線が発生地域を通過した日を○、日本での黄砂観測は観測地点数、さらに SPM の上昇をみるために $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた局数をそれぞれ示している。

表 9-3-1 日毎の砂塵嵐発生、流跡線方向、日本での黄砂観測

月	日	2002				2003				2004				2005				2006				2007				2008				2009				2010				2011				2012				2013				2014				2015			
		砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数								
4月	1	●	○	27	588			1	248	○	○	5	15	◎	○	4	69	○	○	1	21	○	○	43	1058	○	○	3			22	○	○	28	○	○	3	2	○	○	1	○	○	9	○	○	0	○	○	109							
	2	○	○	36	1232				83	○	○	2	14	●	○	1	206	◎	○	1	320	○	○	53	1467	◎		5			3	○	○	9	5		5	○	○	1	1	○	○	9	○	○	4	○	○	8							
	3	◎	○	39	1246				7			23	222	●	○	6	158	◎	○	14	20	○	○	29	29	○	○	18			7	◎	○	5	2	●	○		○	○	2	○	○	2	○	○	4	○	○	12							
	4	◎	○	14	3				164	○	○	5	1	●	○	2	1	○	○	14	304	○	○			○	○	15			72	○	○	2	○	○		○	○	1	○	○	1	○	○	1	○	○	2								
	5	●	○		2				2					●	○	1	9	○	○	1	12					○	○	59			18			41				○	○	4		○	○	11	◎	○	1	○	○	12							
	6	●	○	6	75				5					○	○	1	296	○	○	1	3					○	○	26			55	◎		17	○			○	○	1	○	○	1	○	○	83											
	7	○	○	15	931				102	○	○			◎	○	1	120	●	○	1	4					○	○	33			153	◎	○	0	1	○	○		○	○	1	○	○	2	○	○	0	○	○	0							
	8	○	○	36	1432				60					○	○	4	1026	○	○	1	3					○	○	1			368	◎	○	1	○	○		○	○	1	○	○	1	○	○	0	○	○	0								
	9	○	○	47	1654				13					○	○	7	476	○	○	9	67			○	○	28			158	◎	○	5	○	○		○	○	11	24		○	○	0	○	○	97											
	10	○	○	40	1463				6					○	○	184	○	○	9	78					○	○	0			71	◎	○	3	○	○	1	1	○	○	1	○	○	1	○	○	47											
	11	○	○	13	284				68					◎	○	1	5	○	○		425	○	○			○	○	3			56	◎	○	4	○	○	7	5	○	○	79		○	○	23												
	12	○	○	27	653				588					◎	○	7	258				63					○	○	○			78	◎	○	2	○	○	4	2	○	○	3	○	○	1	○	○	26										
	13	○	○	16	510				523					◎	○	1	70	○	○		339					○	○	13			61	◎	○	1	○	○	9	○	○	5	○	○	4	○	○	9											
	14	○	○	22	229				406					◎	○	2	301	○	○		6					○	○	20			61	◎	○	9	○	○	1	○	○	70		○	○	4	○	○	1										
	15	○	○	5	854				2					◎	○	2	347	○	○		2					○	○	12			3	◎	○	1	○	○	122		○	○	1	○	○	1	○	○	0										
	16	○	○	2	40				268					◎	○	2	52	○	○		9					○	○	3			71	◎	○	3	○	○	103	◎	○	144		○	○	12	◎	○	115										
	17	○	○	19	1247				2					◎	○	23	161	○	○		95					○	○	18			6	◎	○	13	○	○	13	◎	○	1	○	○	7	○	○	7											
	18	○	○	31	489				3					◎	○	34	1071	○	○		25	10				○	○	8			49	◎	○	3	○	○	8	◎	○	8	◎	○	1	○	○	8											
	19	○	○	158	416				4					◎	○	42	1146	○	○		43					○	○	1			114	◎	○	2	○	○	2	○	○	13	◎	○	1	○	○	1											
	20	○	○	68	291				4					◎	○	44	919	○	○		24					○	○	5			24	◎	○	9	○	○	34		○	○	1	○	○	3	◎	○	23										
	21	○	○	3	82				8					◎	○	3	13	○	○		82					○	○	2			76	◎	○	2	○	○	2	○	○	2	○	○	4	○	○	1											
	22	○	○	55	23				23					◎	○	4	89	○	○		162					○	○	4			410	◎	○	2	○	○	2	○	○	2	○	○	0	◎	○	1	○	○	59								
	23	○	○	27	306				1					◎	○	153	○	○		13	○				○	○	2			58	◎	○	13	○	○	365		○	○	75	◎	○	3	○	○	0											
	24	○	○	48	146				4					◎	○	2	366	○	○		9	88				○	○	2			422	◎	○	5	○	○	1	○	○	8	◎	○	3	○	○	1											
	25	○	○	2	75				2					◎	○	3	230	○	○		21				○	○	2			842	◎	○	2	○	○	2	○	○	2	○	○	2	○	○	7												
	26	○	○	198	61				61					◎	○	84	○	○		89	○					○	○	6			354	◎	○	11	13	○	○	14	198		○	○	5	○	○	1											
	27	○	○	6	91				91					◎	○	50	○	○		5	○					○	○	8			58	◎	○	1	3	○	○	43	1232		○	○	2	○	○	6											
	28	○	○	4	164				148					◎	○	1	○	○		2	8					○	○	16			288	◎	○	5	○	○	11	111	○	○	38	1049		○	○	13											
	29	○	○	12	395				65					◎	○	40	○	○		6	○					○	○	3			691	◎	○	3	◎	○	32	634	○	○	29	580		○	○	7											
	30	○	○	12	495				2					◎	○	2	108	○	○		3	○				○	○	1			701	◎	○	5	◎	○	27	1057	○	○	16	56		○	○	3											
	1	○	○	6	740				42					◎	○	20	○	○		10	○				○	○	1			105	◎	○	2	○	○	6	90		○	○	5	○	○	8													
2	○	○	153	247				14					◎	○	11	○	○		11	○				○	○	2			57	◎	○	1	◎	○	8	○	○	2	○	○	2	○	○	193													
3	○	○	187	73				73					◎	○	15	825	○	○		23	○				○	○	2			50	◎	○	2	◎	○	34	○	○	42	○	○	437															
4	○	○	9	214				28					◎	○	1	214	○	○		52					○	○	22			42	◎	○	1	◎	○	41	○	○	72	○	○	773															
5	○	○	44	501				501					◎	○	99	○	○		3	○				○	○	22			70	◎	○	1	◎	○	22	○	○	41	○	○	15	○	○	15													
6	○	○	3	678				112					◎	○	2	112	○	○		15	○				○	○	1			16	◎	○	1	○	○	501	◎	○	1	5	○	○	3														
7	○	○	18	557				163					◎	○	7	285	○	○																																							

砂塵嵐発生、後方流跡線の方向、黄砂の観測、SPM濃度上昇の日々の集約から、砂塵嵐が発生し気流によって運ばれ日本で黄砂が観測される場合や、砂塵嵐は発生しているが黄砂の観測はみられない場合など、厳密な分類はできないが概ねいくつかのケースに分けられる。分類した5つのケースを表9-3-2に示し、表9-3-1でケース毎に色分けしている。また、ケース毎の例を、図9-3-1～図9-3-6に示す。

事例として多いのは、小規模の砂塵嵐と小さな黄砂であるCase2で、14年間で26事例である。大きな砂塵嵐の発生と日本での広い範囲で黄砂が観測されているCase1は19事例であるが黄砂としての影響は大きい。

表 9-3-2 事例の分類

	砂塵嵐	流跡線	黄砂観測	SPM>50局数	内 容	
Case1	●	○	◎	◎	大きな砂塵嵐が発生し、日本への大気の流れにより、多くの地点で黄砂が観測され、SPMも高くなっている	Case1
Case2	○	○	○	○	小規模の砂塵嵐が発生し、日本への大気の流れにより、少数の地点で黄砂が観測され、SPMも比較的高くなっている。	Case2
Case3	△	○	○	×	大陸で明らかな砂塵嵐はみられないが、日本への大気の流れがあり、黄砂の観測も観測されている。SPMは高くない	Case3
Case4	○	○	×	○	大きな規模の砂塵嵐が発生し、日本へ大気も流れているが、黄砂の観測はない。しかし、SPMは高くなっている	Case4
Case5	○	○	×	×	大きな規模の砂塵嵐が発生し、日本へ大気も流れているが、黄砂の観測はなく、SPMも高くなっていない	Case5
Case6	○	×	×	×	大陸で大きな規模の砂塵嵐が発生したが、日本への大気も流れがなく、黄砂の観測も観測されず、SPMも高くない	Case6

(注) 黄砂観測での ◎は10地点超を、○は10地点以下を示す

SPM>50局数での◎は概ね300局超、○はそれより少なく、×は地域的な上昇がないものを示す

砂塵嵐の大規模な発生と、後方流跡線からみた大気の流れは、いずれも日本での黄砂の観測と関連していることが示され、日本への黄砂飛来の大きな要素であることが分かる。一方、これらの要素は必ずしも直接的に結びついているものでもなく、砂塵嵐の発生、日本への大気の流れの組み合わせが合致したときに、黄砂は観測されている。2008年、2009年の黄砂観測の大幅な減少や、2011年以降の砂塵嵐発生の状況に大きな変化はみられないにもかかわらず日本での黄砂観測の頻度が異なっているのは、これら二つの組み合わせの状況に依っているとされる。

近年の黄砂観測日数の減少の要因については、ライダー等のデータを加味して、更なる検討を進める必要がある。

Case1 : 2011年4月29日～5月2日

大きな砂塵嵐の発生があり、流跡線もその地域からの気流の流れを示し、日本で広域に黄砂が観測され、多くの地点でSPM濃度が $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超した事例である。日本への影響が大きいケースで、14年間で19事例程度みられた。

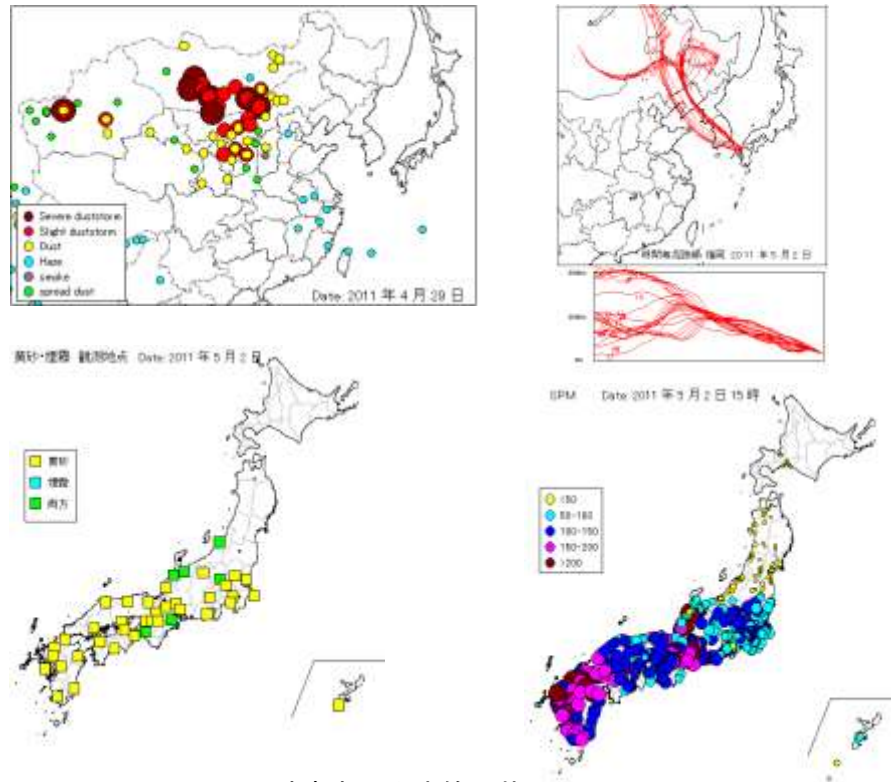


図 9-3-1 Case1 での砂塵嵐の発生等の状況

Case2 : 2005年5月12日

大陸で小規模の砂塵嵐が発生し、日本への大気の流れにより、少数の地点で黄砂が観測され、SPMも多地点で $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えているケースで、通常の黄砂と思われるもので26事例ほどあった。

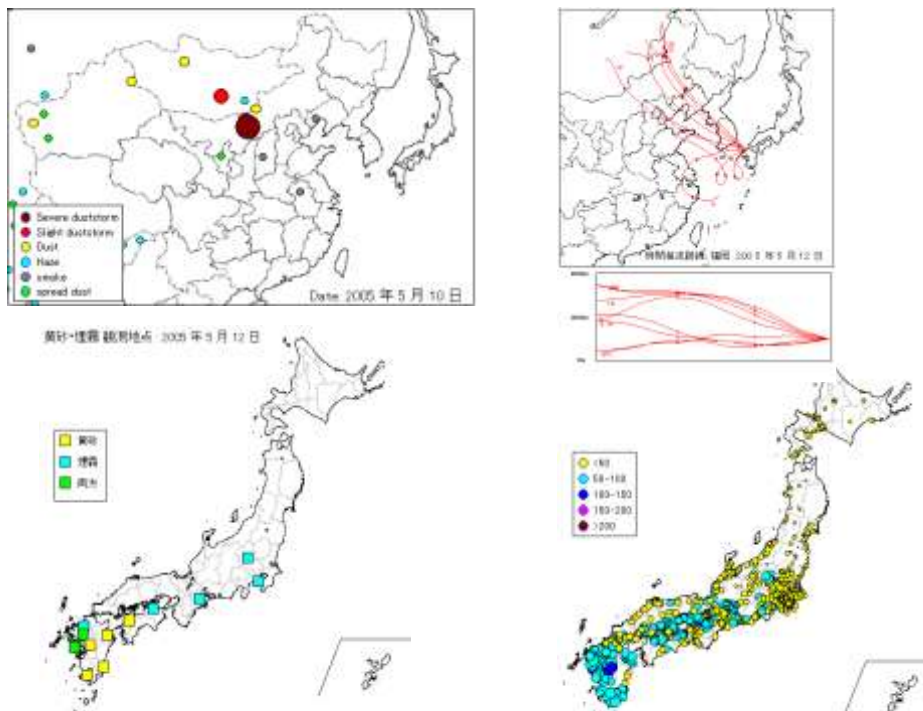


図 9-3-2 Case2 での砂塵嵐の発生等の状況

Case3 : 2015年5月20日

大陸で明らかな砂塵嵐はみられないが、日本への大気の流れがあり、黄砂も観測されている。SPMは高くないケースで、小規模の黄砂の場合にありうる（2事例）。

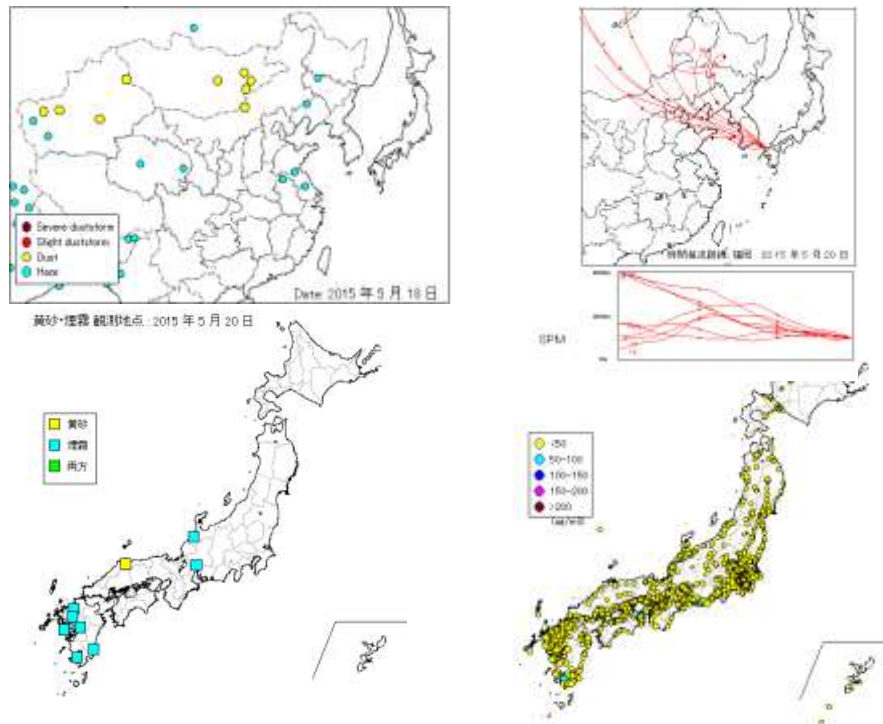


図 9-3-3 Case3 での砂塵嵐の発生等の状況

Case4 : 2013年5月11～13日

大陸で大きな規模の砂塵嵐が発生し、日本へ大気も流れているが、黄砂の観測はない。しかし、日本海側で SPM が $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えているケースで、黄砂は実際には到来しているが観測がなされなかった事例になる（6事例）。

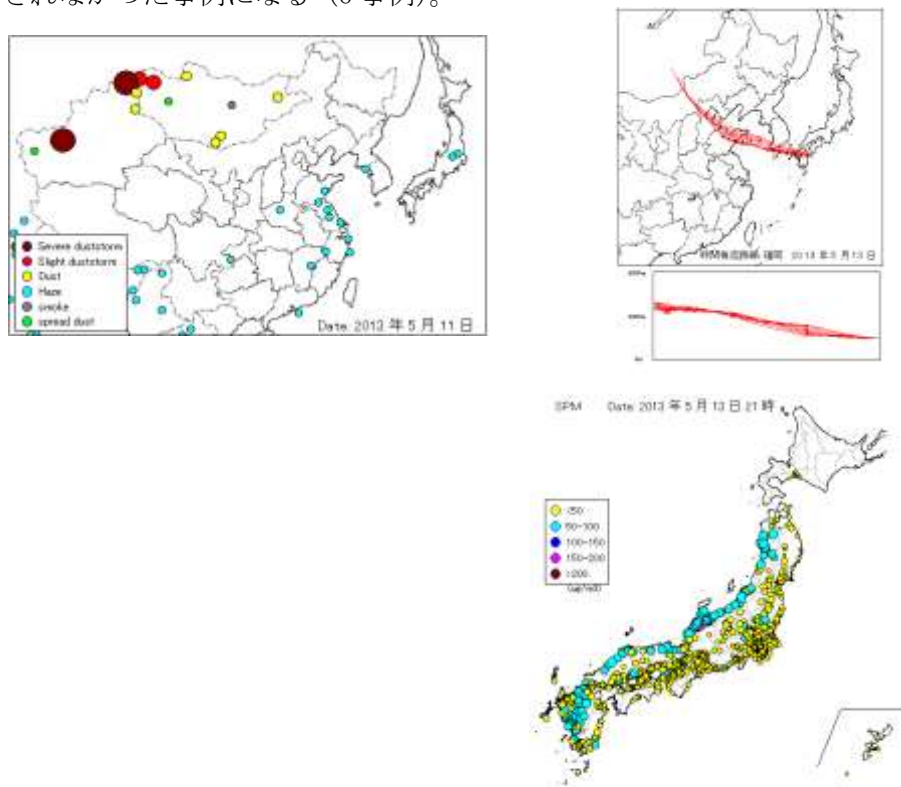


図 9-3-4 Case4 での砂塵嵐の発生等の状況

Case5 : 2008 年 5 月 20 日

大陸で大きな規模の砂塵嵐が発生し、日本へ大気も流れているが、黄砂の観測はなく、SPM も高くなっていないケースで、高層を通過した場合などが想定される。同じようなものが 14 年間で 8 事例ほどみられた。

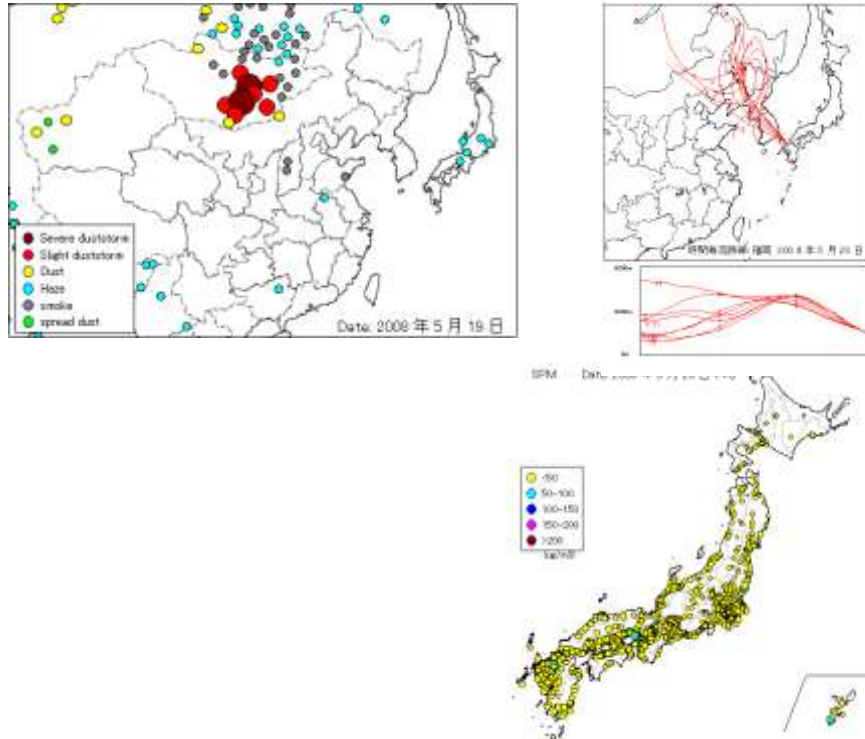


図 9-3-5 Case5 での砂塵嵐の発生等の状況

Case6 : 2008 年 4 月 8 日

大陸で大きな規模の砂塵嵐が発生したが、日本への大気も流れがなく、黄砂の観測も観測されず、SPM も高くないケースで、黄砂は日本以外の地域へ向かったと思われる (8 事例)。

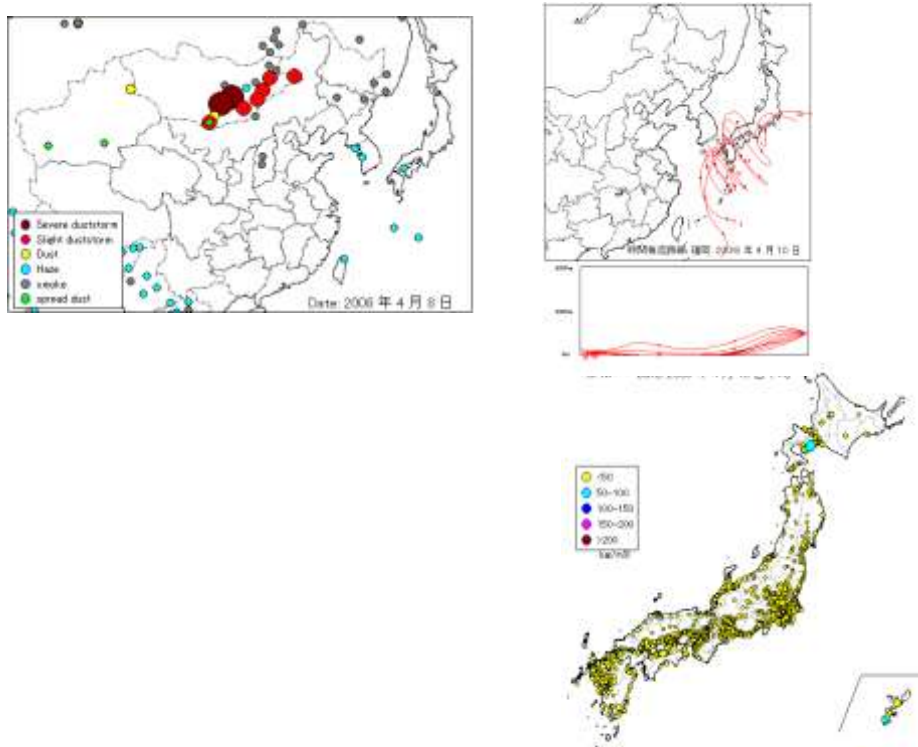


図 9-3-6 Case6 での砂塵嵐の発生等の状況

10. 今後の課題

本年度の報告書では、前年度の黄砂及び煙霧の実態について観測情報や数値モデルを組み合わせ総合的な解析をした。その中で煙霧の中に紛れている弱い黄砂を検出することもできた。さらに、大陸での砂塵嵐の発生と日本に飛来した黄砂の長期の関係性についても検討を加えた。

今後の課題として、次のような事項があげられる

- ・黄砂事例が集積してきたが、多地点の化学的情報が足りず、黄砂と硫酸塩エアロゾルなどの人為起源系汚染物質との混在の実態を明らかにすることが十分にできていない。全国のPM_{2.5}成分濃度調査や環境省のPM_{2.5}モニタリング強化により、日本各地の成分濃度が明らかになっていくことが期待されるため、それらを従来の解析データに加えることにより、単純黄砂だけでなく混在黄砂の空間分布や時間分布を把握できるような実態解明を目指す。
- ・黄砂の日本への飛来回数には変動があり、飛来回数が数回程度の年がときどき見られる。このような変動が何に起因しているのか明らかにすることによって、長期予測手法の向上や発生源対策の評価に繋がることを期待される。
- ・弱黄砂現象やPM_{2.5}に分類される微小な黄砂による健康影響が注目されている。そのような黄砂の分類だけでなく空間的、時間的分解能を把握できるような手法の確立が必要である。
- ・黄砂飛来を示す要素について、カテゴリズの更なる検討を図り、要素のプライオリティについて検証する必要がある。健康影響が懸念される混在黄砂について、さらに多くの事例を蓄積し、空間的な把握や汚染経路などを詳細に解析し寄与を明らかにしていく。黄砂と汚染物質の混在状態変化や黄砂粒子表面に付着する成分にも着目し検討を進めていく必要がある。
- ・黄砂現象や煙霧現象時にPM_{2.5}濃度が上昇し、環境基準値である日平均値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過する事例が多いことが明らかになってきた。煙霧現象と黄砂現象をリアルタイムに区別するために、PM_{2.5}/SPMの比の変化を調べていくことも有効なことと思われる。全国においてSPMとPM_{2.5}の同時観測を行う常時監視局の拡充、化学成分分析データの蓄積を進めることにより、PM_{2.5}濃度の上昇やその組成成分に対する黄砂や煙霧の寄与を解明していく必要がある。
- ・黄砂による人への健康リスクを検討する観点から、黄砂とともに飛来するバイオエアロゾルのデータ収集や、その同定解析法等について検討していく必要がある。
- ・汚染物質と混在する黄砂やPM_{2.5}に関する地域レベルでの地上濃度を予測することが社会的に期待されている。そのような予測に役立つ指標成分や常時監視手法の検討も進める必要がある。
- ・現在、日本・中国・韓国でのモニタリング・予測、発生源対策に関する黄砂共同研究が進行している。黄砂問題検討会と日中韓黄砂共同研究(DSS-WG1)との連携を深め、海外情

報の取り込みや、日本の状況の反映など情報共有を進める必要がある。このような研究が、アジア地域全体の黄砂発生源対策、さらには混在型黄砂の飛来率を低減化できるような公害防止型の技術協力に寄与することも期待される。

参考文献リスト

1. 「環境省」2007：黄砂実態解明調査中間報告書
2. 「環境省」2009：黄砂実態解明調査報告書
3. 「環境省」2010：黄砂飛来状況報告書
4. 「環境省」2011：平成22年度黄砂飛来状況報告書－平成21年度における黄砂実態解明調査
5. 「環境省」2012：黄砂実態解明調査中間報告書－平成20～22年度－
6. 「環境省」2013：平成23年度黄砂飛来状況調査報告書
7. 「環境省」2014：黄砂実態解明調査報告書（平成15～24年度）
8. 「環境省」2015：平成25年度黄砂飛来状況調査報告書
9. 「環境省」HP（環境省大気汚染物質広域監視システム）：<http://soramame.taiki.go.jp/>
10. 「気象庁」HP（地球環境のデータバンク黄砂）
http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/kosahp/kosa_data_index.html
11. 「気象庁」HP（日々の天気図）：<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>
12. 「気象業務支援センター」：世界気象資料、気象庁月報
13. 「気象庁」HP（過去の気象データ）：<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
14. 「国立環境研究所」HP（ライダー（レーザーレーダー））：<http://www.lidar.nies.go.jp/>
15. 「国立環境研究所」HP（東アジア域黄砂・大気汚染物質分布予測（CFORS））：
<http://www-cfors.nies.go.jp/~cfors/index-j.html>
16. 「アメリカ海洋大気圏局 NOAA」HP ARL HYSPLIT（後方流跡線）
<http://ready.arl.noaa.gov/hysplit-bin/trajasrc.pl>
17. 「アメリカ国務省 Mission China」<http://www.stateair.net/web/historical/1/1.html>
18. 日下部正和 他：日本における黄砂飛来の影響－平成25年度黄砂実態解明調査結果概要（10年間のまとめ）－、第55回大気環境学会年会講演要旨集、475（2014）
19. 後藤隆久、岩本真二、日下部正和：日本に飛来する黄砂の分類について、第53回大気環境学会年会講演要旨集、487（2012）
20. 西山亨 他（三重県保健環境研究所）：2015年4、5月における粒子状物質（PM_{2.5}）高濃度事例、第57回大気環境学会年会 P090（2016）
21. 梶田奈穂子 他（愛知県環境調査センター）：第57回大気環境学会年会 「2015年7、8月における粒子状物質（PM_{2.5}）高濃度事例」、1D1130（2016）
22. 中島亜矢子 他（福岡市保健環境研究所）：「2015年10月における粒子状物質（PM_{2.5}）高濃度事例」、第57回大気環境学会年会 P092、（2016）
23. 富山一 他：つくば市における野焼き発生の時間分布調査、第57回大気環境学会年会 2B1000（2016）
24. 富山一 他：稲作残査野焼きによる大気汚染物質排出量の地域別時間分布推計、第57回大気環境学会年会 2B1015（2016）
25. 茶谷聡：野焼き起因排出量推計の改良によるPM_{2.5}濃度予測への影響評価、第57回大気環境学会年会 2B1030（2016）
26. 木戸瑞佳 他（富山県）：2016年2、3月における粒子状物質（PM_{2.5}）高濃度事例、第57回大気環境学会年会 P094（2016）
27. Yasunari(Hokkaido Univ.) et al:An identified Asian dust transport to Hokkaido in the spring of 2016 第57回大気環境学会年会 P067（2016）
28. A. Shimizu, N. Sugimoto, I. Matsui, I. Mori, M. Nishikawa, M. Kido : Relationship between Lidar-derived Dust Extinction Coefficients and Mass Concentration in Japan, SOLA, Vol7A, 1-4,2011
29. 日下部正和、後藤隆久、岩本真二：ライダー黄砂消散係数とSPM濃度による黄砂検出の検討、第53回大気環境学会年会講演要旨集、488（2012）

30. 兼保直樹、杉本伸夫、清水厚、山本重一、河本和明：ライダー観測によるダストの推定と地上観測によるエアロゾル質量濃度の比較、大気環境学会誌、47、6、285-291 (2012)
31. 鳥取大学乾燥地研究センター：黄砂－健康・生活環境への影響と対策－、丸善出版、pp1-150 (2016)
32. 原由香里、佐竹晋輔、鶴野伊津志、竹村俊彦：領域ダスト輸送モデルを用いた黄砂現象の年々変動シミュレーション、天気、51 (10) 719-728 (2004)
33. 日下部正和、岩本真二：黄砂・煙霧時における PM_{2.5} の環境基準超過について、第 54 回大気環境学会年会講演要旨集、491 (2013)
34. Cohen, D., David., Crawford, Jagoda., Stelcer, Eduard., Atanacio, J., Armand. (2012) Application of positive matrix factorization, multi-linear engine and back trajectory techniques to the quantification of coal-fired power station pollution in metropolitan Sydney, Atmospheric Environment 61, 204-211.
35. 辻昭博：大気エアロゾル中のイオン成分および無機元素成分の粒径別高時間分解能観測による黄砂と人為起源物質の越境汚染輸送の詳細解析、大気環境学会誌、48 (2) 82-91 (2013)
36. 斉藤勝美他：2013 年夏季関東における微小粒子の広域観測、エアロゾル研究、30(1)42-52 (2015)
37. Bressi, M., Sciare, J., Ghersi, V., Mihalopoulos, N., Petit, J.-E., Nicolas, J. B., Moukhtar, S., Rosso, A., Féron, A., Bonnaire, N. Poulakis, E., Theodosi, C. Sources and geographical origins of fine aerosols in Paris (France), Atmos. Chem. Phys., 14, 8813-8839. (2014)
38. 岩本真二他：日本に飛来する黄砂の分類方法、第 57 回大気環境学会年会講演要旨集、2B0930 (2016)
39. 西川雅高他：日本で捕集した典型的な黄砂エアロゾルの化学組成、大気環境学会誌、51(5)218-229 (2016)
40. 鶴野伊津志他：九州北部で 2014 年 5 月下旬から 1 週間継続した黄砂期間の硝酸塩の越境輸送のモデル解析、大気環境学会誌、51(4) 181-189 (2016)