

8. 砂塵嵐発生と黄砂観測日数の減少について

我が国における黄砂の年別観測日数は、気象庁で公表されており、図 8-1 に示すとおりである。黄砂は、増加傾向にあったものが 2002 年（観測日数 47 日）を境に減少傾向に転じており、近年の観測日数は 10～20 日、また 2017 年の観測日数では 3 日とこれまでで最も低い。ここでは、日本で黄砂が観測される条件について検討を行ったうえで、黄砂の減少の要因を探る。

一般に、日本へ飛来してくる黄砂は、大陸の黄土地帯で低気圧が発生し巻き上げられた砂塵が、日本付近にある前線の東への移動に伴って地上付近へ降下し、視程の低下をもたらすのがほとんどである。

そこで、日本で黄砂が観測される条件として、黄砂の発生源とその輸送経路の観点から、砂塵嵐発生頻度と日本での黄砂観測の関係および、後方流跡線軌跡と日本での黄砂観測の関係について検討を行う。

大陸の黄土地帯で低気圧が発生し巻き上げられた砂は、現地では砂塵嵐として観測されるため、その情報を用いて日本での黄砂観測の関係性をみる。また、発生した砂塵嵐は気流により運ばれ、日本で黄砂が観測される。気流は後方流跡線で確認することができるため、後方流跡線の軌跡と日本での黄砂観測の関係性をみる。

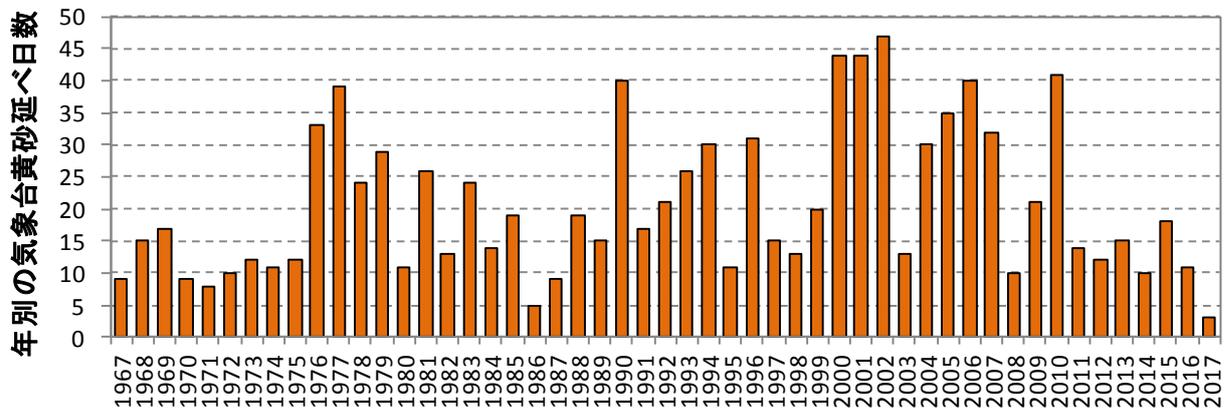


図 8-1 日本での黄砂観測日数の経年変化（年別集計）

8. 1 条件の設定

(1) 期間

解析の対象期間は、2002～2016 年の 15 年間とした。

図 8-1-1 に月別の黄砂観測日数を示しているが、3～5 月は日本での黄砂観測総数の約 85% を占める。年毎での 3～5 月の割合をみても（図 8-1-2）その割合は高いことから、対象月を 3～5 月とした。

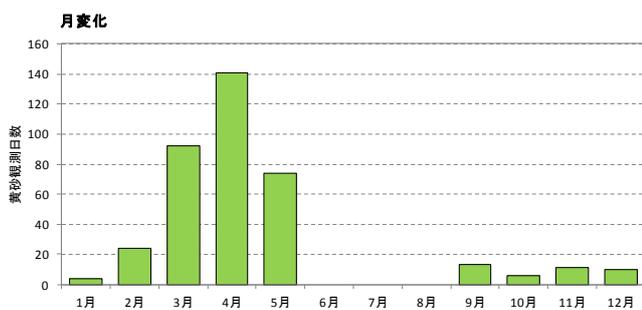


図 8-1-1 日本での黄砂観測日数の経月変化

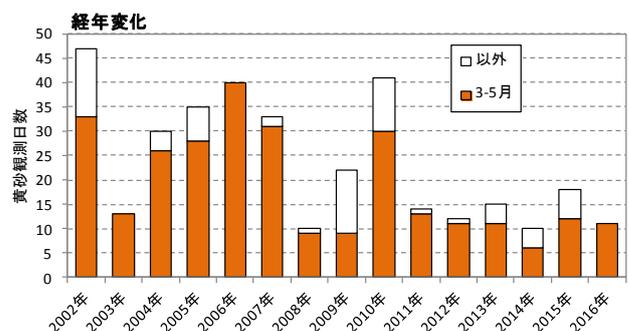


図 8-1-2 日本での黄砂観測日数に占める 3-5 月の割合

(2) 後方流跡線

後方流跡線の起点位置は、日本全体への影響及び大陸に面していることを考慮して福岡、富山、札幌の3地点とした。なお、起点高度は1000m、遡及時間は72時間とした。

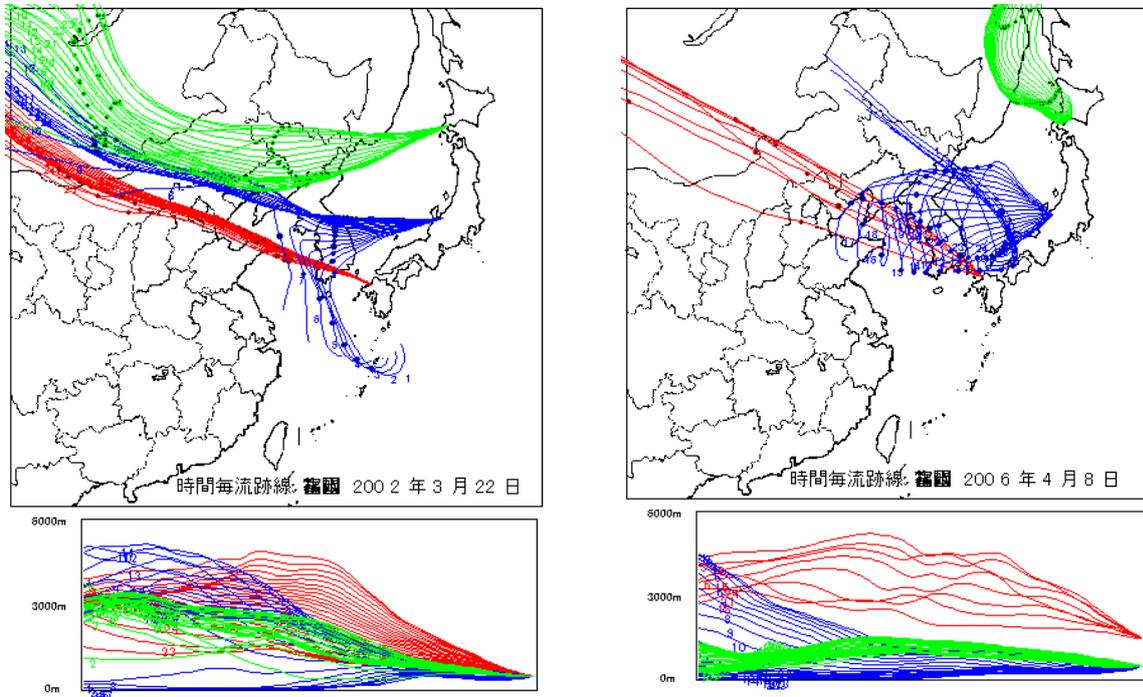


図 8-1-3 福岡、富山、札幌での後方流跡線の事例

(3) 砂塵嵐の種類

砂塵嵐の発生状況は、世界気象資料を用いて集計を行う。ここでは、「Severe duststorm or sandstorm」(code:33~35)と「Slight or moderate duststorm or sandstorm」(code:30~32)を砂塵嵐として集計した。

表 8-1-1 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	
●	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

(4) 砂塵嵐の発生地域

前年度の報告書では、図 8-1-4 のとおり、砂塵嵐の発生地域として、北緯 35～55°、東経 80～120°の範囲を 5°メッシュで 32 地域に分割した。

地域毎の砂塵嵐 (Severe・Slight) の発生日数は、図 8-1-5 に示すとおりである。また、日本で黄砂が観測された日の福岡・富山・札幌での後方流跡線が 32 地域のいずれかを通過した日数について、通過した地域別で示したものを図 8-1-6 に示す。

図 8-1-5 および図 8-1-6 から、地域 13～16 と 21～24 は、他の地域と比較して、砂塵嵐の発生回数が非常に多く、かつ日本からの後方流跡線が通過する回数が多いことがわかる。これらの地域は、モンゴル東部から内モンゴルにかかる北緯 40～50°東経 100～120°にあたり、特に日本に影響を与えやすい地域と想定できる。

以上から、対象エリアは、北緯 40～50°東経 100～120° (図 8-1-4 において黄色で表示したエリア (以下、「黄砂発生主要地域」とする。)) とする。

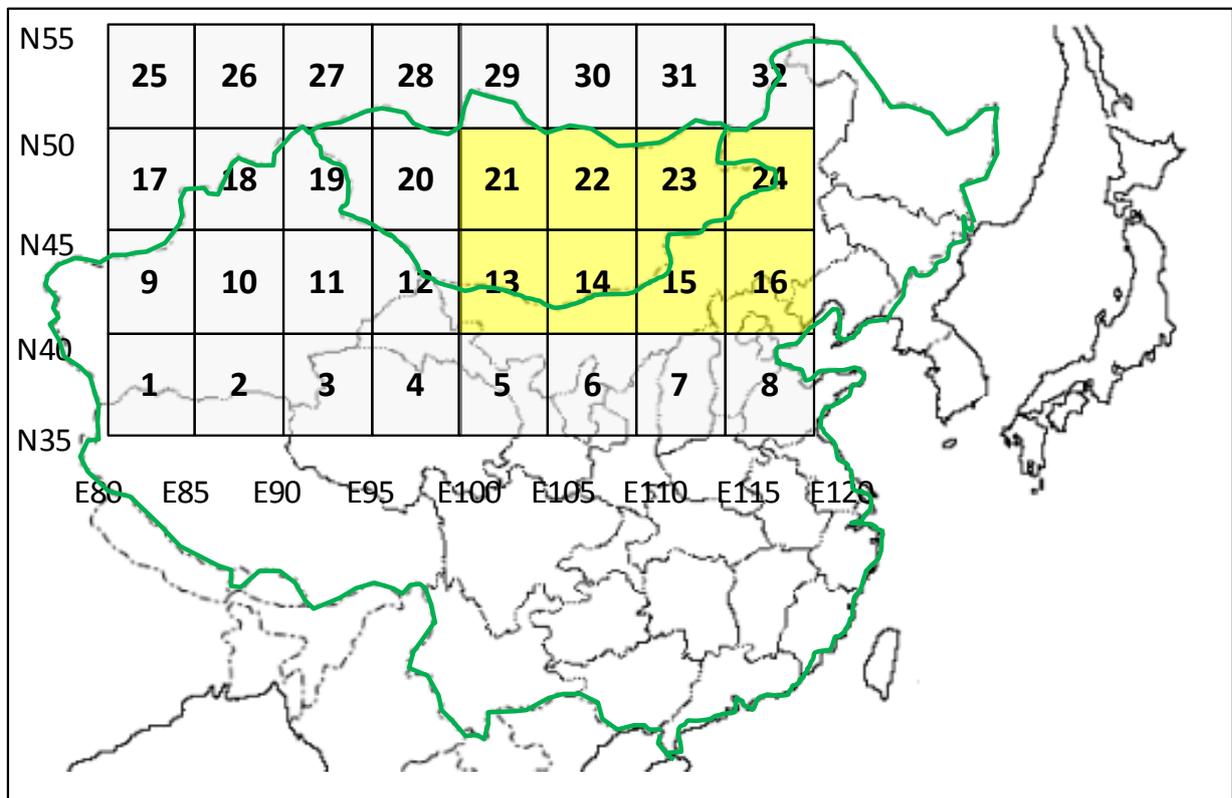
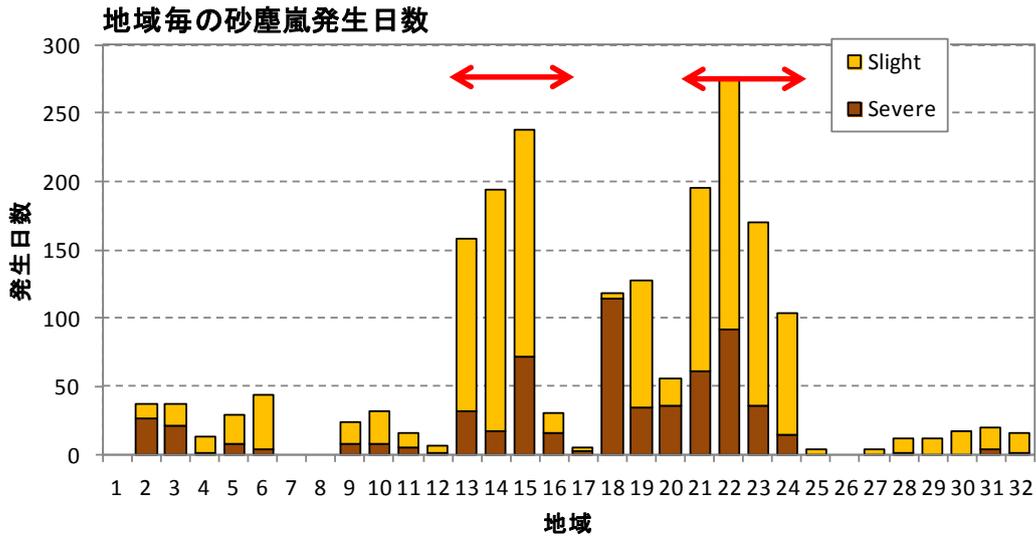
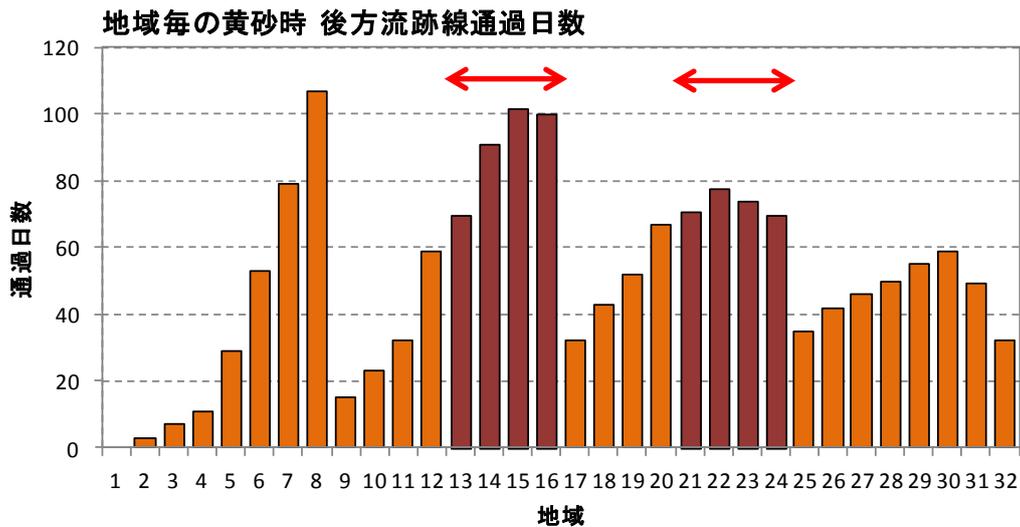


図 8-1-4 砂塵嵐発生地域の 5° メッシュ



備考) 図中の矢印は、砂塵嵐発生日数と後方流跡線通過日数がともに多い地点を示す。

図 8-1-5 地域別砂塵嵐発生日数



備考) 図中の矢印は、砂塵嵐発生日数と後方流跡線通過日数がともに多い地点を示す。

図 8-1-6 日本での黄砂時の地域別後方流跡線通過日数 (福岡、富山、札幌)

8. 2 集計結果

大陸における砂塵嵐の発生、日本から砂塵嵐発生地域までの後方流跡線通過状況、日本における黄砂の観測状況、日本における SPM の状況について、前項に従って集計した結果を表 8-2-1 に示す。

15 年間の 3~5 月のすべての日について、黄砂発生主要地域における砂塵嵐 (Severe・Slight) の発生の有無、黄砂発生主要地域における後方流跡線 (福岡、富山、札幌の後方流跡線のいずれか) の通過の有無、黄砂の観測地点数、SPM 日平均値が $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた常時監視測定局の数をまとめた。

表 8-2-1 砂塵嵐の発生・後方流跡線通過・黄砂の観測・SPM 高濃度の日毎一覧

月	日	2002			2003			2004			2005			2006			2007			2008			2009			2010			2011			2012			2013			2014			2015			2016		
		砂塵嵐	流跡線	SPM>50局数																																										
3月	1	○		369	○		351	○		2	○		3	○		1	○		1	○		1	○		31	○		1	○		7	○		1	○		168	○		2	○					
	2	○		266	○		2	○		2	○		9	○		2	○		1	○		1	○		1	○		1	○		3	○		1	○		2	○		1	○					
	3	○		14	○		68	○		1	○		151	○		1	○		121	○		44	○		0	○		0	○		0	○		3	○		1	○		2	○					
	4	○		72	○		1	○		1	○		2	○		1	○		172	○		25	○		2	○		1	○		3	○		1	○		19	○		9	○					
	5	○		512	○		1	○		3	○		1	○		1	○		35	○		2	○		0	○		1	○		1	○		1	○		156	○		3	○					
	6	○		334	○		30	○		1	○		162	○		1	○		1	○		1	○		1	○		1	○		7	○		1	○		11	○		3	○					
	7	○		2	○		2	○		3	○		256	○		1	○		1	○		8	○		0	○		1	○		4	○		67	○		149	○		5	○					
	8	○		2	○		1	○		1	○		287	○		920	○		1	○		1	○		1	○		7	○		127	○		18	○		445	○		2	○					
	9	○		34	○		1	○		90	○		483	○		272	○		19	○		4	○		1	○		4	○		2	○		127	○		31	○		887	○					
	10	○		369	○		1	○		169	○		472	○		152	○		2	○		1	○		1	○		1	○		1	○		2	○		13	○		73	○					
	11	○		12	○		24	○		337	○		827	○		3	○		2	○		610	○		1	○		1	○		1	○		2	○		1	○		7	○					
	12	○		49	○		35	○		210	○		30	○		4	○		115	○		1	○		1	○		1	○		2	○		1	○		1	○		9	○					
	13	○		6	○		9	○		35	○		9	○		1	○		1	○		1	○		1	○		14	○		39	○		3	○		459	○		9	○					
	14	○		83	○		18	○		9	○		1	○		1	○		3	○		173	○		3	○		5	○		44	○		29	○		1	○		12	○					
	15	○		7	○		238	○		192	○		13	○		8	○		3	○		2	○		2	○		20	○		87	○		3	○		3	○		1	○					
	16	○		16	○		277	○		312	○		10	○		461	○		115	○		1	○		1	○		27	○		34	○		2	○		23	○		1	○					
	17	○		24	○		417	○		4	○		4	○		280	○		1	○		594	○		1	○		8	○		46	○		601	○		34	○		154	○					
	18	○		44	○		451	○		21	○		93	○		1	○		86	○		10	○		10	○		41	○		294	○		1	○		44	○		544	○					
	19	○		16	○		51	○		4	○		11	○		10	○		8	○		4	○		4	○		14	○		1	○		14	○		26	○		116	○					
	20	○		10	○		212	○		1	○		22	○		2	○		2	○		11	○		1	○		5	○		300	○		2	○		107	○		19	○					
	21	○		25	○		855	○		2	○		2	○		3	○		6	○		12	○		2	○		63	○		1099	○		6	○		6	○		1	○					
	22	○		44	○		1355	○		20	○		103	○		187	○		559	○		3	○		3	○		6	○		2	○		10	○		4	○		2	○					
	23	○		44	○		595	○		7	○		5	○		29	○		21	○		35	○		1	○		4	○		670	○		1	○		45	○		2	○					
	24	○		8	○		1	○		242	○		186	○		2	○		11	○		14	○		2	○		4	○		2	○		11	○		2	○		6	○					
	25	○		1	○		4	○		2	○		559	○		1	○		1	○		3	○		1	○		1	○		1	○		1	○		1	○		2	○					
	26	○		369	○		11	○		643	○		11	○		3	○		7	○		79	○		6	○		1	○		1	○		1	○		1	○		2	○					
	27	○		288	○		21	○		928	○		1	○		38	○		1	○		213	○		11	○		148	○		4	○		1	○		6	○		40	○					
	28	○		9	○		2	○		5	○		4	○		199	○		15	○		282	○		30	○		215	○		3	○		3	○		10	○		87	○					
	29	○		384	○		1	○		8	○		29	○		2	○		4	○		8	○		17	○		312	○		11	○		11	○		2	○		32	○					
	30	○		5	○		24	○		9	○		30	○		4	○		4	○		3	○		8	○		24	○		23	○		0	○		3	○		3	○					
	31	○		19	○		328	○		1	○		544	○		26	○		1	○		1	○		3	○		12	○		1	○		1	○		0	○		3	○					
4月	1	○		27	○		588	○		1	○		248	○		5	○		15	○		4	○		69	○		1	○		21	○		43	○		1058	○		3	○					
	2	○		36	○		1232	○		83	○		2	○		14	○		1	○		206	○		1	○		320	○		5	○		3	○		9	○		5	○					
	3	○		39	○		1246	○		7	○		23	○		222	○		6	○		158	○		14	○		20	○		29	○		29	○		18	○		15	○					
	4	○		14	○		3	○		164	○		5	○		2	○		1	○		14	○		304	○		15	○		72	○		2	○		2	○		15	○					
	5	○		2	○		2	○		2	○		1	○		9	○		1	○		12	○		59	○		18	○		41	○		1	○		4	○		11	○					
	6	○		6	○		75	○		5	○		16	○		7	○		296	○		1	○		3	○		26	○		55	○		1	○		17	○		1	○					
	7	○		15	○		931	○		102	○		99	○		1	○		120	○		1	○		28	○		33	○		153	○		1	○		1	○		2	○					
	8	○		36	○		1432	○		60	○		4	○		1	○		198	○		41	○		72	○		1	○		368	○		1	○		5	○		1	○					
	9	○		47	○		1654	○		13	○		7	○		228	○		29	○		476	○		2	○		67	○		0	○		158	○		5	○		11	○					
	10	○		40	○		1463	○		68	○		161	○		1	○		184	○		9	○		267	○		78	○		6	○		71	○		1	○		332	○					
	11	○		13	○		284	○		1	○		68	○		537	○		1	○		5	○		425	○		40	○		4	○		7	○		5	○		79	○					
	12	○		27	○		653	○		31	○		162	○		3	○		19	○		339	○		63	○		137	○		2	○		4	○		2	○		3	○					
	13	○		28	○		725	○		18	○		588	○		13	○		44	○		6	○		9	○		20	○		61	○		1	○		9	○		5	○					
	14	○		19	○		1247	○		10	○		419	○		58	○		28	○		254	○		7	○		15	○		12	○		122	○		1	○		1	○					
	15	○		5	○		854	○		2	○		347	○		1	○		36	○		21	○		595	○		2	○		7	○		67	○		103	○		12	○					
	16	○		16	○		510	○		2	○		428	○		19	○		3	○		258	○		3	○		4	○		15	○		19	○		15	○		15	○					
	17	○		22	○		229	○		523	○		16	○		301	○		1	○		70	○		43	○		784	○		1	○		1	○		8	○		1	○					
	18	○		2	○		40	○		406	○		2	○		441	○		235	○		32	○																							

8. 3 日本での黄砂観測と砂塵嵐発生頻度の関係

黄砂発生主要地域における砂塵嵐（Severe+Slight）の発生日数と、日本での黄砂観測日数の経年推移は、図 8-3-1 に示すとおりであり、これらの相関図が図 8-3-2 である。砂塵嵐（Severe+Slight）と黄砂観測日数の R^2 は約 0.5 で、ある程度の関連性がみられた。2008 年に黄砂が少ない原因は不明であるが、この 2008 年を除いた Severe との関係では R^2 は約 0.8 を示し、大陸で砂塵嵐が多いほど、日本で黄砂が観測される日数が多くなる傾向にある。

ただし、図 8-3-3 に示すように、日本での黄砂観測日の減少と、砂塵嵐発生頻度の減少における回帰式の傾きは異なっており、黄砂観測日数の減少幅が大きい。清水ら³⁴⁾も、ライダーによる黄砂消散係数の高度 6km までの積分値(黄砂光学的厚さ)について、2007 年から 2016 年にかけて日本国内平均では -2.5%/年のトレンド、モンゴル国内平均では -0.7%/年のトレンドを検出した。即ち、黄砂の発生源近傍より下流にあたる日本上空で黄砂濃度の減少傾向が強くと、要因としては気象要素(移流・沈着)の変動が考えられる、としている。

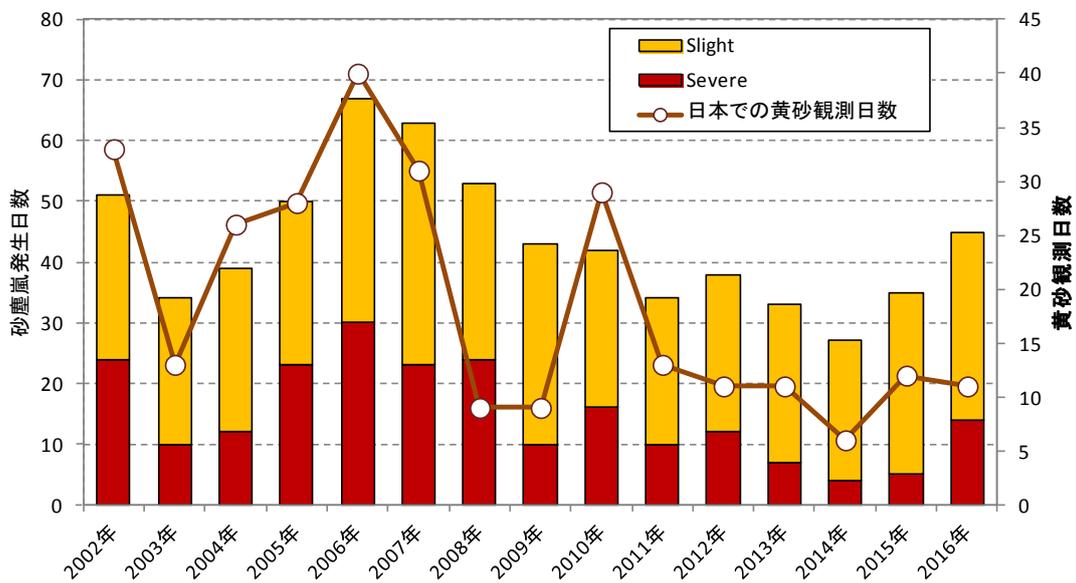


図 8-3-1 砂塵嵐発生日数と日本での黄砂観測日数の経年変化

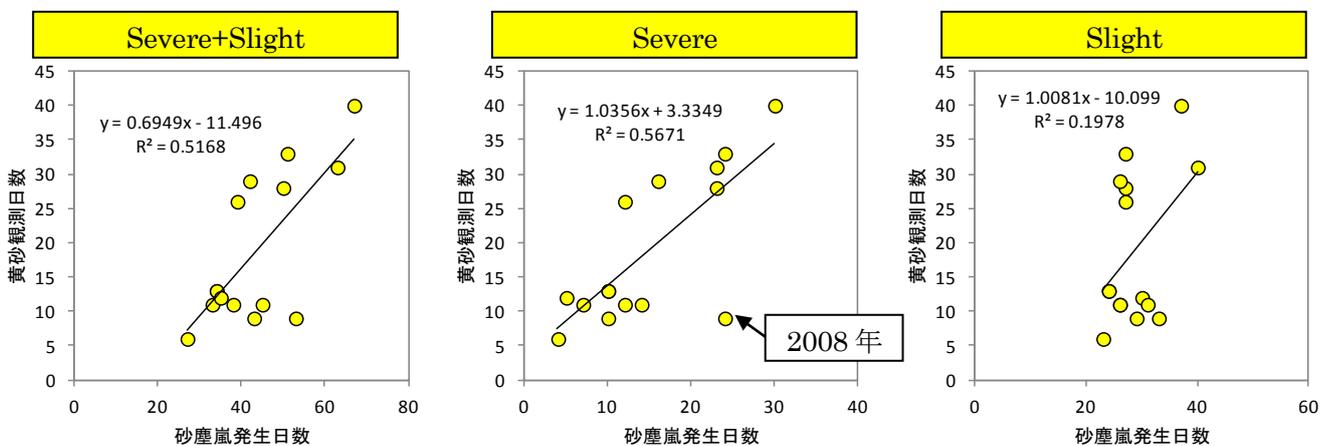


図 8-3-2 砂塵嵐発生日数と日本での黄砂観測日数の散布図

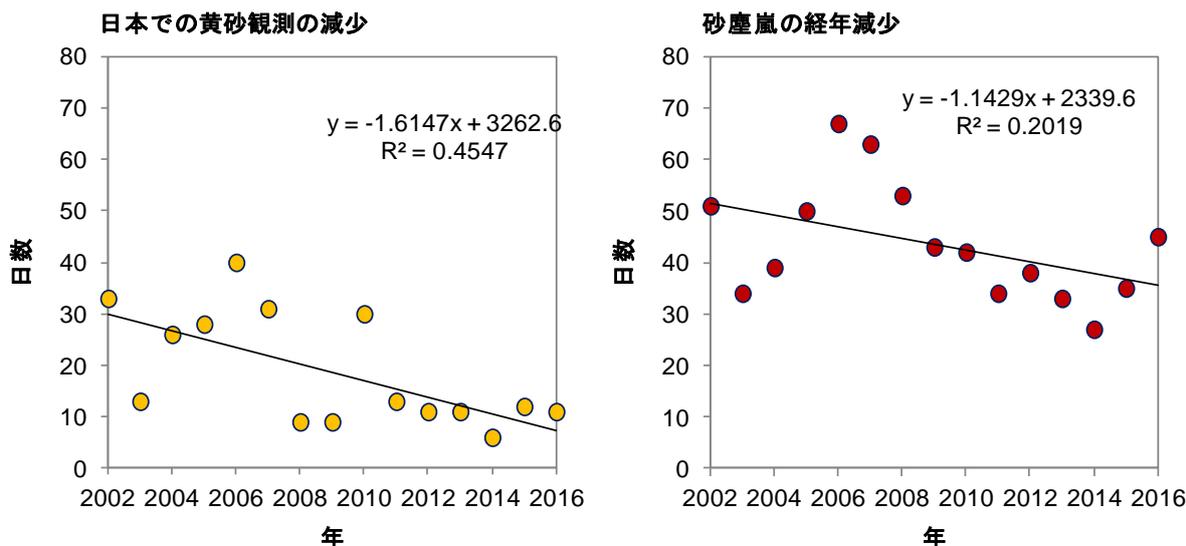


図 8-3-3 砂塵嵐と黄砂の経年減少

8. 4 日本での黄砂観測と後方流跡線軌跡の関係

福岡、富山、札幌いずれかからの後方流跡線の黄砂発生主要地域通過日数と、日本での黄砂観測日数の経年推移は、図 8-4-1 と図 8-4-2 に示すとおりである。後方流跡線の軌跡はこの 15 年間で大きく変動している様子はみられず、黄砂観測との明確な関連は確認できない。このことから、日本での黄砂観測の年別の推移は、黄砂発生源地域からの気流よりも黄砂発生源地域における砂塵嵐の発生と強く関係していることがいえる。

次に、各地点（福岡、富山、札幌）の黄砂観測日数の 15 年間総計と、各地点からの後方流跡線の黄砂発生主要地域通過日数の 15 年間総計は、図 8-4-3 に示すとおりである。日本の西側に位置するほど後方流跡線通過日数と黄砂観測日数がともに多い傾向がみられることから、地点別の差異は黄砂発源地域からの気流と強く関係していることがいえる。

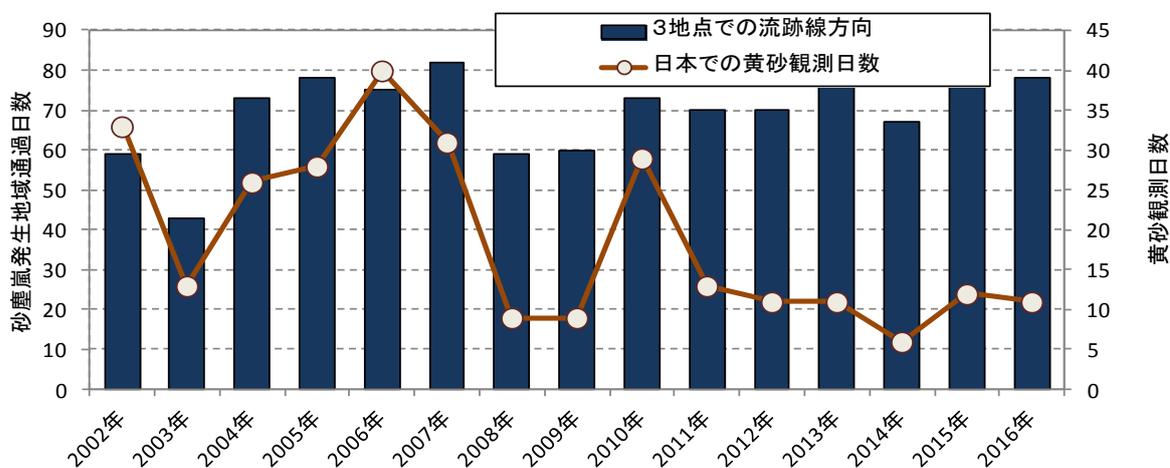


図 8-4-1 後方流跡線の砂塵嵐発生地域通過日数

3地点での流跡線方向

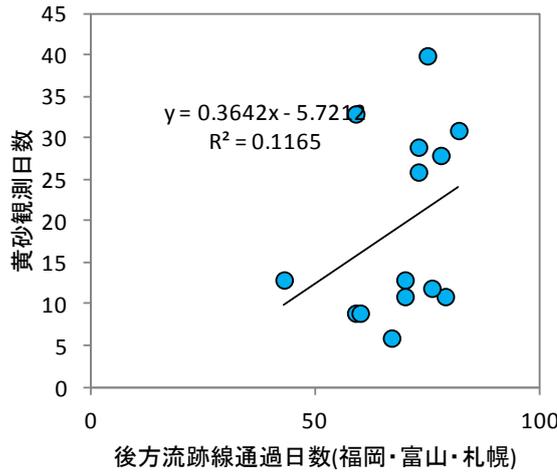


図 8-4-2 日本での黄砂観測日数の経年変化と散布図

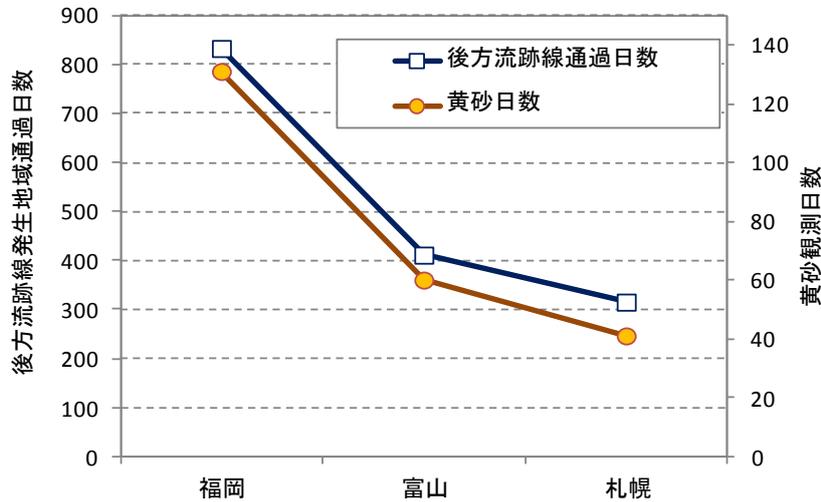


図 8-4-3 砂塵嵐発生地域からの後方流跡線の通過日数と黄砂観測日数の地点別集計

8. 5 日本の黄砂の由来となる砂塵嵐発生地域における黄砂発生源対策

前章から、日本の黄砂観測日の年別の推移は黄砂発生源地域における強い砂塵嵐発生数との相関が高いこと及び日本の黄砂観測日の観測地点別の差異は黄砂発生源地域からの観測地点への気流の多さとの相関が強いことがデータからも裏付けることができた。そこで、本章では、日本の黄砂の由来となる砂塵嵐発生地域の絞り込みを行うとともに、同地域における黄砂発生源対策の状況を整理する。

図 8-5-2 に黄砂発生主要地域 (図 8-5-1、再掲) の地域毎に示した砂塵嵐の発生日数を示している。砂塵嵐の発生日数は、地域 6 が最も多く、次いで地域 3 が多い。これに対して、図 8-5-2 には、日本で黄砂が観測された日に黄砂発生源地域において砂塵嵐が発生して、同地域からの気流が福岡、富山、札幌いずれかを通過した日の 15 年間総計を、黄砂発生主要地域の地域毎に示したものを示している。これを見ると、地域 3 が最も多く、次いで地域 6、7、2 となっている。地域 3、6、7、2 はモンゴル及び内モンゴル周辺である。黒崎ら³⁵⁾は、黄砂の輸送経路、輸送高度などを調べなければ結論付けられないとしたうえで、コビ砂漠、タクラマカン砂漠、黄土高原など砂塵嵐が発生しやすい地域よりも内モンゴル周辺が日本への黄砂飛来に大きく影響していることを示唆している。



図 8-5-1 砂塵嵐の発生が多い地域

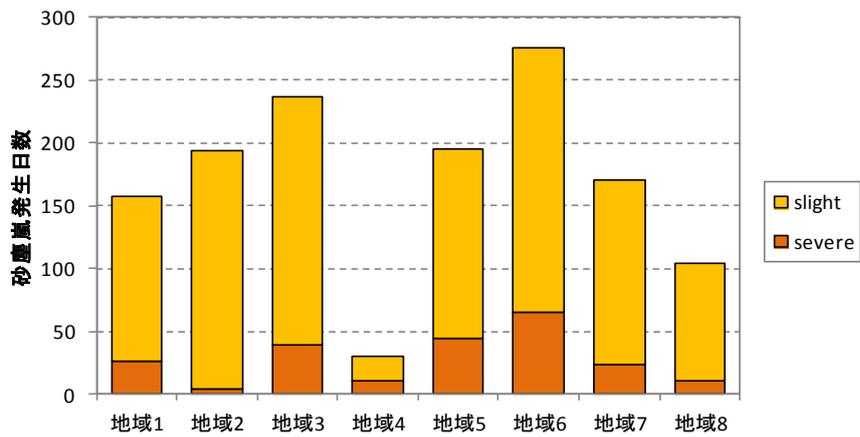


図 8-5-2 地域別の砂塵嵐発生日数

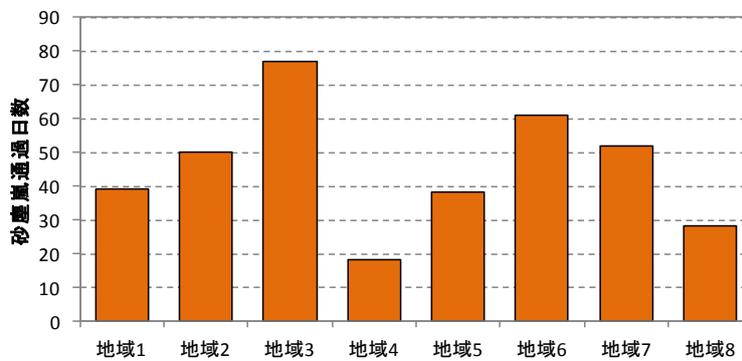
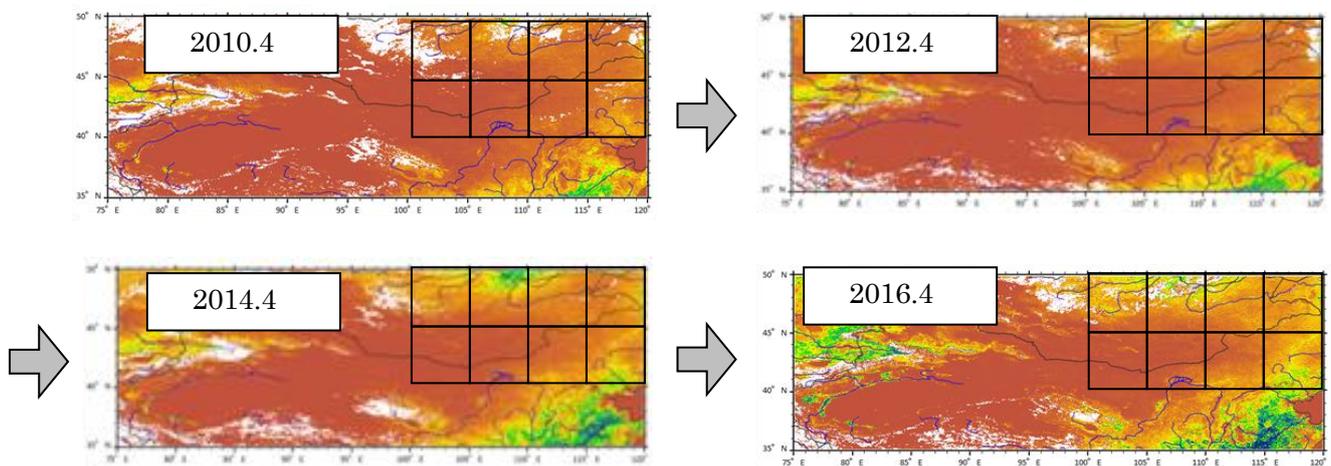


図 8-5-3 全国黄砂時に砂塵嵐発生地域からの気流が福岡・富山・札幌のいずれかを通過した地域別日数

内モンゴル地域では、中国政府により植生等の対策が進められている。第五次中国荒漠化と砂漠化状況公報（2015年12月国家林業局公表）によれば、中国政府では、植生による対策として退耕還林（1999～2010年）、退牧還草（2003～2020年）、天然林保護（2000～2050年）、風砂対策（2000～2010年）、保護林建設（1978～2050年）、速生・豊産用材林基地建設（2001～2015年）の6つの工程を実施されており、この結果、2014年の中国全土の砂漠化面積は172.12万km²で、2009年から9902km²減少している。また、中国ではさらに2016年から2020年にかけて10万km²の砂漠化対策を実施する予定である。

中国政府によるこれらの植生等の対策を技術的に支援するため、日本国環境省では、日中韓三カ国環境大臣会合（TEMU）の合意の下、2008年から日中韓三カ国で黄砂共同研究を実施している。共同研究分野はモニタリング・早期警報システム（ワーキンググループ1）と黄砂発生源対策（ワーキンググループ2）がある。ワーキンググループ2では、2013～2014年に地元政府により植生等の対策が行われた中国内モンゴル自治区フルンボイル市の砂漠化地域において、毎年夏に、日中韓三カ国の専門家が現地調査を実施している。現地調査では、発生源対策後の砂丘の移動状況、植生の定着具合等を調査・分析して、植生毎の適応性等の対策効果評価を実施している。今後、パンフレットの配布、ワークショップの開催等を通じて、地元政府・住民に対する成果の周知が図られる見込みである。

砂塵嵐の発生減少の要因は、強風の発生頻度、積雪の状況や土壌中の水分の保持量など様々なものが考えられるが、植生の回復もその一因と思われる。参考に、大陸中央部における緑化の指標として、「鳥取大学東アジア黄砂発生モニタリングシステム」で公開されている植被率の2010年から2016年の4月について、図8-5-3に示す。図中の囲いは、黄砂発生主要地域の8地域であり、これらの地域において徐々に植生が回復している様子がみられる。



鳥取大学 東アジア黄砂発生モニタリングシステムより
 (<http://www.alrc.tottori-u.ac.jp/staff103/thresholdwindspeed/ja.html>)
 植被率：2m×2mの正方形の枠を緑化地に設定し、その枠内を植物が覆っている割合

図8-5-3 黄砂発生主要地域における2010年～2016年4月の植被率

8. 6 砂塵嵐及び気流の状況と日本での黄砂観測状況

大陸における砂塵嵐発生から日本の黄砂観測を一体的にみるために、表 8-2-1 (p.75) から特徴的な事例を抽出し、砂塵嵐の発生状況と SPM 濃度別に色分けした福岡・富山・札幌の後方流跡線を同時に示す図を作成した。

図 8-6-1 の事例は、大陸における砂塵嵐の発生と後方流跡線の軌跡が一致する場合で、日本で黄砂が観測される最も典型的なものである。

図 8-6-2 のように砂塵嵐が発生したとしても後方流跡線の軌跡が一致していない場合には、日本で黄砂が観測されることは稀である。

一方、図 8-6-3 のように大陸における砂塵嵐の発生と後方流跡線の軌跡が一致し、かつ SPM の上昇が観測される場合でも日本で黄砂が観測されないことがある。これは、黄砂の現象が明確でなく見逃された場合であるが、事例としては少ない。

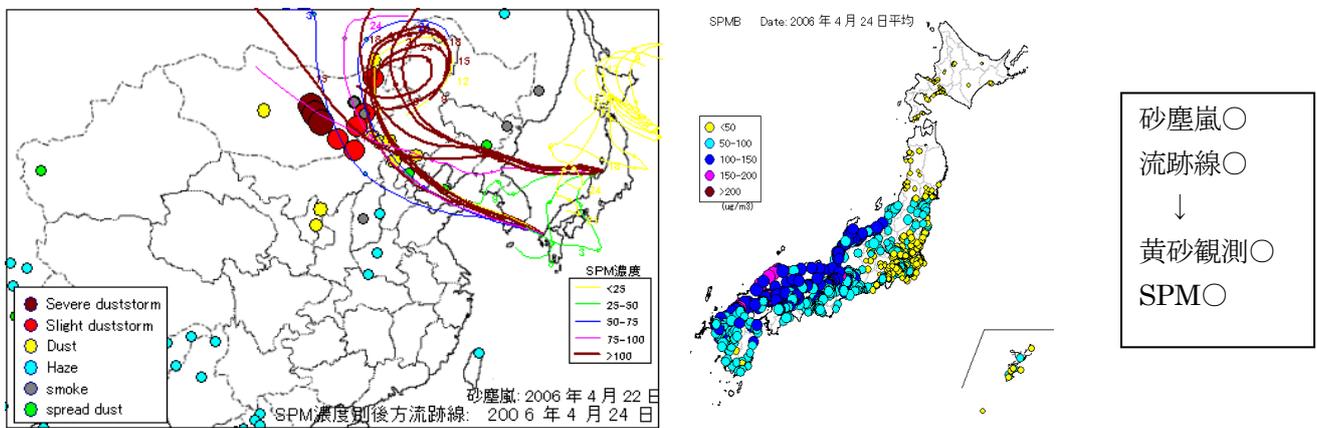


図 8-6-1 砂塵嵐が大規模で発生し、日本で広範囲で黄砂が観測された事例

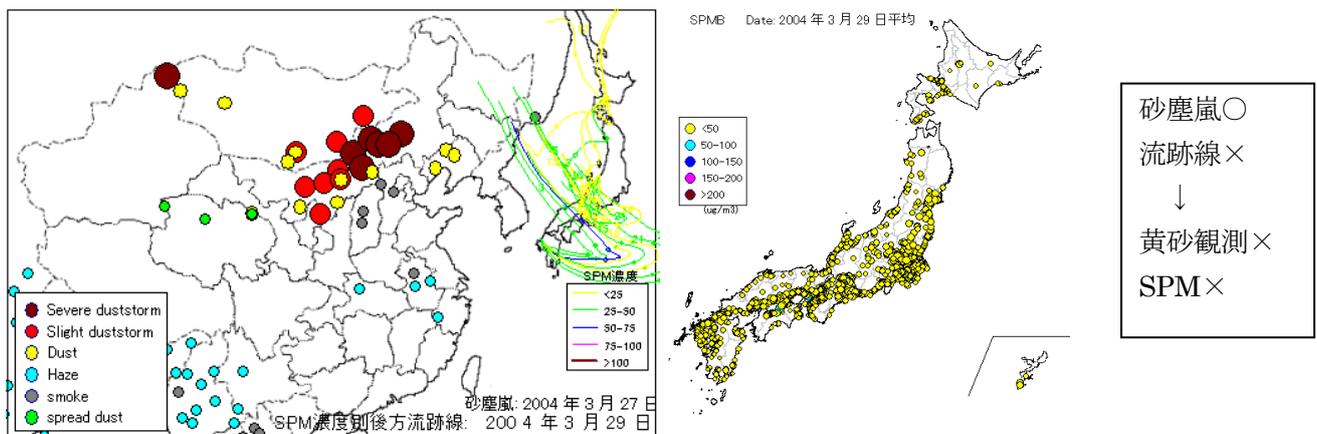


図 8-6-2 砂塵嵐が大規模に発生しているが、後方流跡線が通過せず黄砂が観測されなかった事例

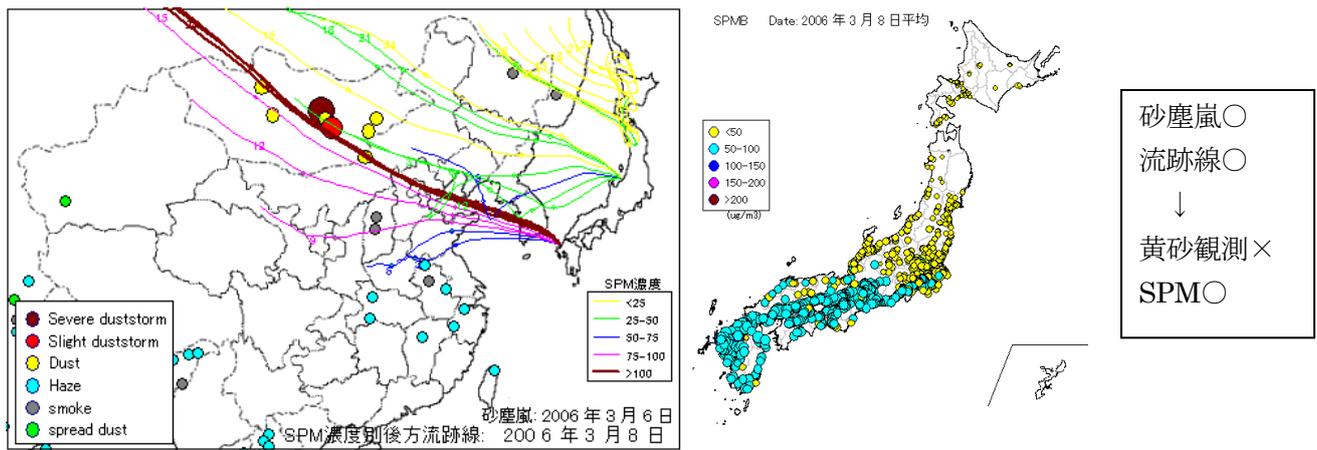


図 8-6-3 砂塵嵐が発生し、後方流跡線も通過し SPM 濃度も上昇しているが黄砂が観測されなかった事例

9. 今後の課題

本報告書では、2016年度に観測された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。その他、ライダーによる黄砂検出の検討、PM_{2.5}成分分析結果による煙霧時と黄砂時の比較などを行った。また、黄砂観測日の減少についての検討を行い、砂塵嵐の発生と日本に到達する黄砂との関係などについてこれまでの知見をまとめた。

今後の課題として、次のような事項があげられる。

<本報告書第6章関連>

○大黃砂に比べ我が国への飛来頻度が多い弱黄砂による健康影響が懸念されており、そのような黄砂がいつどこで発生しているのかを把握する高感度検出手法の確立が望まれる。そのために、地上のライダーのデータに衛星のデータを加えて解析するなどの検討を行う必要がある。また、黄砂に付着して飛来する化学物質やバイオエアロゾルによる複合的な健康影響も指摘されており、黄砂とともに飛来する化学物質の状況を継続して把握していく必要がある。

<本報告書第7章関連>

○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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過する観測事例が例年報告されている。PM_{2.5}の化学成分分析データの蓄積を進めることにより、PM_{2.5}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。

<本報告書第8章関連>

○近年では黄砂の日本への飛来回数が減少傾向にあり、その要因は黄砂発生主要地域における植生の回復状況、積雪量や表面土壌中の水分量、強風の発生頻度、輸送経路などの変化が考えられる。その中で、日本に飛来する黄砂に影響のある地域の絞り込みとその地域における植生状況や回復対策の進捗を把握し、飛来黄砂の減少要因に及ぼす植生因子の大きさを調べるとともに、その対策支援を継続的に行っていくことが必要である。

<国際協力活動との連携>

○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について、黄砂問題検討会と日中韓三カ国黄砂共同研究(ワーキンググループ1)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、さらには大気汚染物質との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を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」2008：黄砂実態解明調査報告書
3. 「環境省」2009：黄砂飛来状況報告書
4. 「環境省」2010：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」2011：黄砂実態解明調査中間報告書－平成20～22年度－
6. 「環境省」2012：平成23年度黄砂飛来状況調査報告書
7. 「環境省」2013：黄砂実態解明調査報告書（平成15～24年度）
8. 「環境省」2014：平成25年度黄砂飛来状況調査報告書
9. 「環境省」2015：平成26年度黄砂飛来状況調査報告書
10. 「環境省」2016：平成27年度黄砂飛来状況調査報告書
11. 「環境省」2017：平成28年度黄砂飛来状況調査報告書
12. 「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/>
13. 「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
14. 「気象庁」HP（日々の天気図）：<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>
15. 「気象業務支援センター」：世界気象資料、気象庁月報
16. 「気象庁」HP(過去の気象データ)：<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
17. 「国立環境研究所」HP（ライダー（レーザーライダー））：<http://www.lidar.nies.go.jp/>
18. 「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>
19. 「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>
20. 「アメリカ国務省 Mission China」<http://www.stateair.net/web/historical/1/1.html>
21. 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年間のまとめ一、第55回大気環境学会年会講演要旨集、475（2014）
22. 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）
23. 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
24. 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）
25. 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）

26. 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)
27. 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.
28. 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)
29. 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)
30. 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)
31. 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)
32. 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)
33. R.Kimura:Effect of the Strong Wind and Land Cover in Dust Source Regions on the Asian Dust Event over Japan from 2000 to 2010, *SOLA* , 8, 77-80 (2012)
34. A. Shimizu, N. Sugimoto, T. Nishizawa, Y. Jin, D. Batdorj : Variations of Dust Extinction Coefficient Estimated by Lidar Observations over Japan, 2007-2016
35. 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)