

福井県内のマダニにおける SFTS (重症熱性血小板減少症候群) ウイルス遺伝子の検索

石畝 史・宇田晶彦*1・森川 茂*1・大村勝彦・矢野泰弘*2・高田伸弘*2

Serveillance of Virus gene of Severe Fever with Thrombocytopenia Syndrome in Tick of Fukui Prefecture

Fubito ISHIGURO, Masahiko UDA*1, Shigeru MORIKAWA*1,
Katsuhiko Omura, Yasuhiro YANO*2, Nobuhiro TAKADA*2

1. はじめに

わが国初の重症熱性血小板減少症候群 (severe fever with thrombocytopenia syndrome: SFTS) の患者が 2013 年 1 月に確認後¹⁾、西日本の各県から患者報告が続き²⁻⁴⁾、しかも、死亡率が高い傾向があることから全国的に注目された。これまでわが国ではマダニ媒介性ウイルス感染症は、北海道におけるダニ媒介性脳炎の 1 例⁵⁾のみであった。一方、SFTS については中国で 2009 年に患者報告があり、病因物質はフタトゲチマダニ *Haemaphysalis longicornis* (Hl) およびオウシマダニ *Boophilus microplus* が媒介する、SFTS ウイルスと特定されていたもの⁶⁻⁷⁾、国内におけるマダニの SFTS ウイルス保有状況調査は、患者発生がなかったことから全く実施されていなかった。

これまで県内におけるマダニ調査は、中部地方以北で発生が見られるライム病および 2004 年にわが国で初めて本県で患者が確認された紅斑熱群リケッチア症について、媒介種の分布調査およびそれらのマダニにおける病原体保有調査⁸⁻¹⁰⁾を行って来た。各々の媒介種は前者がシュルツェマダニ *Ixodes pelsulcatus* (Ip)、後者がヒトツトゲマダニ *I. monospinosus* (Im) であり、本県において生息する標高は前者が 1,000m 以上、後者が 400~1,200m であることから、フタトゲチマダニが生息する低い標高での調査は特に嶺北地方ではあまり実施して来なかった。そこで、今回、国立感染症研究所 (以下、感染研と略す) が主導する「SFTS 制圧にむけた相互的研究」に一部参画し、フタトゲチマダニが属するチマダニ属 *Haemaphysalis* を主に低山帯を中心にマダニ分布を調べ、さらに感染研においてマダニから SFTS ウイルス遺伝子の検出を試みた。

2. 材料および方法

2. 1 材料

2. 1. 1 調査期間および調査地域

2013 年夏季 (5~7 月) は福井県越前地区の浄法寺山①、吉峰寺②、城山③、越知山④、日野山⑤、鬼ヶ岳⑥、奥越地区の大師山⑦、勝山市谷のブナの道⑧、取立山⑨、赤兎山⑩、大長山⑪、飯降山⑫および若狭地区の野坂岳⑬、三方石観世音⑭および百里ヶ岳 (鯖街道) ⑮の計 15 ヶ所で延べ 17 回実施した (図 1)。同年秋季 (9~10 月) には、夏季の調査で SFTS ウイルス遺伝子保有マダニが確認された浄法寺山、城山、大師山、野坂岳および三方石観世音の 5 ヶ所の他に、奥越地方の荒島岳⑯を追加して実施した。

合計すると 16 ヶ所で延べ 23 回実施した。調査地域の標高は約 50~800m の地域が 13 ヶ所および 1,100m 以上が 3 ヶ所であった。

2. 1. 2 材料

フランネル法により植生上から採集したマダニ 985 個体を成書¹¹⁻¹²⁾を参考に同定し、そのうち成虫 111 個体、若虫 544 個体および幼虫 40 個体の計 695 個体をウイルス遺伝子検査に供した。成虫は個別に、若虫および幼虫は地域別および採集時期別に 2~5 個体プールして 1 検体とした。なお、遺伝子検査に供したマダニは、6 月末までの採集個体は -80°C に凍結保存した個体、7 月以降は生存した個体を用いた。

2. 2 方法

2. 2. 1 マダニからの RNA の直接抽出

マダニの入った破砕チューブに Isogen II (NipponGene) を添加し、BEATER (家田貿易) で破砕後、水を加え激しく混和し、夾雑物を遠心沈澱させた。回収した上清から DNA、タンパク質、ポリサッカライド等を除去するために、p-Bromoanisole (Wako) を添加して遠心除去を行った。得られた RNA 抽出用液を濃縮するために、2-プロパノールおよびエタ沈メイトを添加混和し、遠心上清を取り除き、75% エタノールを添加・上清除去を 2 回繰り返して、乾燥させた。20μL の水を添加・溶解後、ナンドロップ (LMS 社) で RNA 濃度を測定し、用事まで -80°C で保存した。

2. 2. 2 抽出された SFTS ウイルスの RNA の PCR

マダニから抽出した RNA の 1/10 量を、SFTS ウイルスの S セグメントを標的とする MGB プローブを用いたリアルタイム RT-PCR で検査し、10 コピー/reaction 以上) を陽性とした。

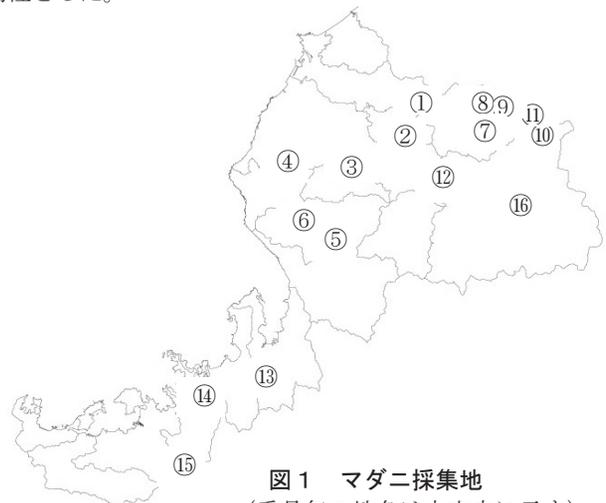


図 1 マダニ採集地
(番号毎の地名は本文中に示す)

*1 国立感染症研究所獣医科学部

*2 福井大学医学部

表1 マダニ採集結果

採集地	標高(m)	採集月日	Hl		Hf		Hm		Hk	Hj		At		Dt	Io	Ip	Im
			成虫	若虫	成虫	若虫	成虫	若虫	成虫	成虫	若虫	成虫	若虫	成虫	成虫	成虫	成虫
鯖街道	200~500	5月25日	1	18		1	1	20 ¹⁾	5								
三方石観世音	50~100	5月25日	1	58		1		6 ²⁾	5			3					
		10月14日		2 ³⁾	2	4	29	46 ⁴⁾									
野坂岳	200~400	5月25日		58	1		1	40	4			1					
		10月14日		2 ⁵⁾	1	6	10	34 ⁶⁾									
浄法寺山	350~600	6月1日			1	20		4				1	1	1			
		10月6日				6											
城山	200~400	6月1日		2	2	20						1			5		
		10月6日				9											
大師山	150~550	6月8日			1	49 ⁷⁾				1		5	2	2			
		9月28日				7											
越知山麓	350~500	6月9日		9	3	37						6					
飯降山	200~600	6月16日			5	35					1	1	4	4			
吉峰寺	100~200	6月22日				2		1				1		2			
日野山	100~800	6月29日	2	9	8	40				1	7	6	9				1
		7月7日	1	1	5	9	1	1			11	5	10	1			
谷 ブナの道	500~700	7月10日				1				1			1	8			
取立山	1,000~	7月10日			1	2				1					13	7	1
	1,300	7月26日			2	4									29		
鬼ヶ岳	100~550	7月20日	7	4 ⁸⁾		1							1				
赤兎山	1100~1,600	7月21日											1	18	1		
大長山	1,400~1,600	7月21日												16	2 ⁹⁾		
荒島岳	500~800	9月29日				2		1		1							

その他の採集個体：幼虫；1) 1個体 2) 20個体 3) 3個体 4) 20個体 5) 5個体 6) 20個体 7) 20個体 8) 20個体 若虫；9) 1個体
 Hl: フタトゲチマダニ、Hf: キチマダニ、Hm: オオトゲチマダニ、Hk: ヒゲナガチマダニ、Hj: ヤマトチマダニ
 At: タカサゴキララマダニ、Dt: タイワンカクマダニ、Io: ヤマトマダニ、Ip: シュルツエマダニ、Im: ヒトツトゲマダニ

3. 結果

3. 1 採集マダニ種

3. 1. 1 夏季および秋季採集分

採集個体はチマダニ属ではHl、キチマダニ *H. flava* (Hf)、オオトゲチマダニ *H. megaspinosa* (Hm)、ヒゲナガチマダニ *H. kitaokai* (Hk) およびヤマトチマダニ *H. japonica* (Hj) の5種類、マダニ属 (*Ixodes*) ではIp、Im および *I. ovatus* (Io) の3種類、その他にタカサゴキララマダニ *Amblyomma testidinarium* (At) およびタイワンカクマダニ *Dermacentor taiwanensis* (Dt) の計4属10種類であった。

地域別、採集時期別、種類別および発育段階別に採集個体数を表1に示す。夏季ではフタトゲチマダニが7地点、キチマダニが13地点、オオトゲチマダニが6地点、ヒゲナガチマダニが3地点、タカサゴキララマダニが9地点およびタイワンカクマダニが7地点から採集できた。また、成虫が10個体以上採集できたのは、フタトゲチマダニ、キチマダニ、ヒゲナガチマダニ、タカサゴキララマダニ、タイワンカクマダニなどで、このうち若虫が100個体以上採集できたのは前二者のみであった。秋季ではフタトゲチマダニが2地点、キチマダニが6地点およびオオトゲチマダニが3地点から採集できた。成虫が10個体以上採集できたのはオオトゲチマダニのみで、若虫で30個体以上採集できたのはキチマダニおよびオオトゲチマダニであった。合計すると成虫269個体、若虫607個体および幼虫109個体であった。

種類別にみるとヒゲナガチマダニは若狭地区のみで採集でき、オオトゲチマダニは若狭地区で優勢で、フタトゲチマダニは県東北部で確認されなかった。一方、大型種のタイワンカクマダニとタカサゴキララマダニは比較的広範囲で得られた。

3. 1. 2 夏季と秋季採集分の比較

夏と秋の両季に採集した5地点のうち、大師山、浄法寺山および城山の3地点は、秋季はいずれの地点でもキチマダニ若虫6~9個体のみで、フタトゲチマダニなど3種類は採集できなかった。一方、若狭地区の野坂岳および三方石観世音では、秋はヒゲナガチマダニなど2種類が採集できず、フタトゲチマダニ若虫が2個体ずつの採集であったのに対し、オオトゲチマダニ成虫は10個体と29個体、同若虫は34個体と46個体採集できた(表1)。

3. 2 SFTS ウイルス遺伝子

3. 2. 1 SFTS ウイルス遺伝子保有状況

SFTS 遺伝子ウイルス検出マダニ種は夏季ではフタトゲチマダニ若虫、キチマダニ若虫、オオトゲチマダニ若虫、ヒゲナガチマダニ♂およびタイワンカクマダニ♀の4種類で、計7検体であった(表2~3)。即ち、陽性検体はフタトゲチマダニ若虫143個体をプールした(以下、「プールした」を略す)30検体中1検体、キチマダニ若虫201個体の41検体中3検体、オオトゲチマダニ若虫66個体の14検体中1検体、ヒゲナガチマダニ成虫6検体中1検体(16.7%) およびタイワンカクマダニ成虫19検体中1検体(6.3%)であった。なお、タカサゴキララマダニは、

表2 マダニにおけるSFTSウイルス遺伝子検査結果

採集地	採集月	Hl		Hf			Hm			Hk	Hj		At		Dt	Io	Im
		成虫	若虫	成虫	若虫	幼虫	成虫	若虫	幼虫	成虫	成虫	若虫	成虫	若虫	成虫	成虫	成虫
鯖街道	5月	0/1	0/4 ¹⁾				0/1 ²⁾	0/4/20		0/2							
	5月		0/12/58					0/2/6	0/4/20	1/3							
三方石観世音	10月		1/1/2	0/2	1/1/4		10/24	2/10/43									
							41.7%	4.7~16.3%									
野坂岳	5月		1/12/58	0/1			0/1	1/8/40		0/1							
			1.7~8.6%					2.5~12.5%									
浄法寺山	10月		1/1/2	0/1	1/2/6		2/10	2/7/34									
							20.0%	5.9~26.5%									
城山	6月			0/1	0/4/20										1/1		
	10月				0/2/6												
大師山	6月			0/2	1/4/20										0/5		
					5.0~25%												
越知山麓	10月				1/2/9												
					2/10/49	0/4/20				0/1	0/1/4	0/2	0/2				
					4.1~20.4%												
飯降山	9月				1/2/7												
吉峰寺	6月		0/3	0/8/37										0/2/6			
														0/1	0/1	0/4	0/4
日野山	6月		0/5	0/7/35													
ブナの道	6月	0/2	0/2/9	0/8	0/8/40					0/1	0/7	0/2/6	0/9	0/1			
										0/1			0/1				
取立山	7月									0/1							
鬼ヶ岳	7月	0/1													0/1		
															0/1		
赤兎山	7月																
荒島岳	9月																
										0/1							

1) 陽性数/検体数(プール) /マダニ個体数 2) 陽性数/検体数

成虫 8 個体および若虫 17 個体すべて陰性であった。

一方、秋季ではフタトゲチマダニ若虫、キチマダニ若虫、オオトゲチマダニ成虫および若虫の 3 種類で、計 22 検体であった(表 2~3)。即ち、陽性検体はフタトゲチマダニ若虫 4 個体の 2 検体中 2 検体、キチマダニ若虫 32 個体の 9 検体中 4 検体、オオトゲチマダニ成虫 34 個体中 12 個体 (35.3%)、同若虫 77 個体の 17 検体中 4 検体であった。夏季に陽性個体が確認された 5 地点のうち 4 地点で陽性個体が確認された。プール検体から検出された若虫における SFTS ウイルス遺伝子保有率は、たとえば、夏季のフタトゲチマダニは野坂岳では 1.7~8.6%であった。また、キチマダニは夏季の城山で 5.0~25%および夏季の大師山では 4.1~20.4%、オオトゲチマダニは野坂岳では夏季は 2.5~12.5%および秋季は 5.9~26.5%、および秋季の三方石観世音では 4.7~16.3%であった(表 2)。

3. 2. 2 検出コピー数

SFTS 遺伝子が検出された夏季の 7 検体のコピー数/reaction は、フタトゲチマダニは 23.6、キチマダニは 30.6、38.7 および 35.5、オオトゲチマダニは 60.7、ヒゲナガチマダニは 26.3 およびタイワンカクマダニは 64.3 で、7 検体すべてが 10²未満のコピー数であった。

一方、秋季の 22 検体のコピー数/reaction は、フタトゲチマダニは 458 および 449、キチマダニは 18.2~908、オオトゲチマダニ成虫は 11.7~353 が 9 検体および 1,110~4,990 が 3 検体、同若虫は 324~30,500 であった。

表3 マダニ種別のSFTSウイルス遺伝子保有状況

マダニ種	採集月	成虫	若虫 ¹⁾
フタトゲチマダニ	5~7月	0/4	1/32/147 ²⁾
	10月	-	2/2/4
キチマダニ ³⁾	5~6月	0/20	3/41/201
	9~10月	0/3	4/9/32
オオトゲチマダニ ³⁾	5月	0/2	1/14/66
	10月	12/34	4/17/77
ヒゲナガチマダニ	5月	1/6	
ヤマトチマダニ	6~9月	0/1	0/4/4
タイワンカクマダニ	6~7月	1/19	
タカサゴキララマダニ	6月	0/8	0/6/17
ヤマトマダニ	6月	0/13	
ヒトツトゲマダニ	6月	0/1	

1) 若虫と幼虫は2~5個体で1検体(プール検体)

2) 陽性数/検体数/検査個体数 3) 幼虫 0/4/20

4. 考察

SFTS ウイルスは 3 分節の 1 本鎖 RNA を有する RNA ウイルスであり、クリミア・コンゴ出血熱ウイルス¹³⁾ などと同じブニヤウイルス科でフレボウイルス属に分類され

る¹⁴⁾。ブニヤウイルス科に共通して見られる性質から、SFTS ウイルスは酸や熱に弱く、消毒用アルコールや台所用洗剤、紫外線の照射によって急速に失活すると考えられている¹⁵⁾。

感染研が SFTS ウイルス遺伝子保有種¹⁶⁾としたマダニ5種（フタトゲチマダニ、キチマダニ、オオトゲチマダニ、ヒゲナガチマダニおよびタカサゴキララマダニ）が本県内で再確認でき、南方系のタカサゴキララマダニおよびタイワンカクマダニの生息も広いことが新たに判明した。

夏季と秋季のマダニ採集結果を比較すると、大師山、浄法寺山および城山の3地点では、キチマダニ若虫が夏季に比べ秋季はかなり少なく、さらに夏季に採集できた他の3～4種類のマダニは全く採集できなかった。一方、若狭地方の野坂岳および三方石観世音では、秋季はヒゲナガチマダニ、タカサゴキララマダニおよびフタトゲチマダニは採集できないか、あるいは極めて少数しかできなかったものの、オオトゲチマダニ成虫は両地域で、同若虫は三方石観世音では夏季に比べ多く採集できたのが特筆される。

感染症発生動向調査で届けられた SFTS 症例の概要（2013年1月1日～12月25日）では、40名の患者報告があり、そのうち5月に12名、次いで7月に8名、8月に5名と、5月にピークを示していることから、春～夏に刺咬される機会が多いことを示している¹⁷⁾。

ちなみに、フタトゲチマダニの季節的消長については仙台市内の公園における調査報告¹⁸⁾がある。それによると、若虫は5月から現れ7月にピークを示し9月まで活動している。また、成虫は7月と8月にのみ採集されており、今回の若狭地方の成績は同様の結果が得られたと思われる。

フタトゲチマダニにおける SFTS ウイルス遺伝子保有状況については、中国の SFTS 患者発生地域の2か所の調査によると、Hubei 地区では牛、山羊および犬などへの寄生個体、および茶畑での採集個体では 10/2,432 (0.41%)、Henan 地区では 8/1,066 (0.75%) で、非発生地区の個体を含めたプール検体では 18/365 (4.9%) であった⁷⁾。今回の夏季のフタトゲチマダニ若虫における保有率は野坂岳では 1.7～8.6% であった。また、検査個体数が多かったキチマダニ若虫およびオオトゲチマダニ若虫における保有率は、最小に想定した場合、前者は 4.1～5.0%、後者は 2.5～5.9% の範囲でこれら3種類のマダニにおける保有率は同様と思われた。しかし、地区ごとにみると調査個体数はまだ少ないものの、現時点では、これらのマダニのうち、ヒト嗜好性の高いフタトゲチマダニおよびキチマダニには特に注意を要すると思われた。

SFTS ウイルス遺伝子保有コピー数/reaction は、夏季は7検体ともに 10²未満であったが、秋季ではフタトゲチマダニは 10²台、キチマダニは 10²および 10³台が各2検体、およびオオトゲチマダニは 10³が5検体および 10⁴が1検体など、秋季の方が高い傾向をみた。

今後は、SFTS ウイルスの生息域が拡大していると考えられることから¹⁹⁾、今回検査できなかったシュルツェマダニおよび SFTS ウイルス遺伝子が確認されなかったタカサゴキララマダニを含め、さらなる調査が必要と思われた。

5. まとめ

2013年夏季および秋季に、県内の山間部16地点において、延べ23回、マダニ採集を試み、SFTS ウイルス遺伝子検出も行った。その結果、4属10種類985個体のマダニ

が採集でき、695個体の遺伝子検査を行った。SFTS ウイルス遺伝子が陽性となったマダニは、フタトゲチマダニ、キチマダニ、オオトゲチマダニ、ヒゲナガチマダニおよびタイワンカクマダニの2属5種であった。県内にも広く分布するタカサゴキララマダニについては、今回、陽性個体は確認できなかった。

参考文献

- 1) 西條政幸他：国内で初めて診断された重症熱性血小板減少症候群患者，病原微生物検出情報，34，40-41(2013)
- 2) 西條政幸他：国内で初めて確認された重症熱性血小板減少症候群(SFTS)患者に続いて後方視的に確認された2例，病原微生物検出情報，34，108-109(2013)
- 3) 下島昌幸他：日本における重症熱性血小板減少症候群，ウイルス，63，7-12(2013)
- 4) 井内新他：フタトゲチマダニ刺咬後に早期診断され良好な経過をたどった重症熱性血小板減少症候群の1例，病原微生物検出情報，34，207-208(2013)
- 5) Takahashi et al : A case of tick-borne encephalitis in Japan and isolation of the virus, J Clin Microbiol, 35, 1943-1947(1997)
- 6) Yu XJ et al : Fever with thrombocytopenia associated with a Novel Bunyavirus in China, N Engl J Med, 364,1523-1532(2011)
- 7) Yu XJ et al : The ecology, genetic diversity, and phylogeny of Huaiyangshan Virus in China, J Virol,86,2864-2868(2012)
- 8) 石畝 史他：福井県におけるマダニ類の分布相とライム・ボレリア保有状況，ダニ学会誌，1，27-35(1992)
- 9) Survey of the vectorial competence of ticks in an Endemic area of spotted fever group rickettsioses in Fukui prefecture, Japan, Microbiol Immunol, 52, 305-309(2008)
- 10) 石畝 史他：福井県の紅斑熱群発生に係るベクターと病原リケッチアの調査，福井県衛環研年報，7，46-49(2009)
- 11) 高田伸弘：病原ダニ類図譜，金芳堂，105-132(1990)
- 12) 藤田博己他：日本産マダニの種類と幼弱期の検索，ダニと新興再興感染症（SADI 組織委員会編集），全国農村教育協会，53-68(2007)
- 13) 高島郁夫：ダニ媒介性ウイルス感染症，Med Entomol Zool, 64, 61-66(2013)
- 14) Lu J et al : Expression of structural and non-structural proteins of severe with thrombocytopenia syndrome bunyavirus, Bing Du Xue Bao, 27, 515-520 (2011)
- 15) 岸本壽男他：最近のダニ媒介性疾患—マダニ媒介の SFTS (重症熱性血小板減少症候群)，日本内科学会雑誌，102, 2846-2853(2013)
- 16) 森川 茂他：＜速報＞重症熱性血小板減少症候群 (SFTS) ウイルスの国内分布調査結果(第一報) 病原微生物検出情報，34, 303-304(2013)
- 17) <http://www.nih.go.jp/niid/ja/diseases/sa/sfts.html>
- 18) 大竹秀男，重症熱性血小板減少症候群(SFTS)とその媒介マダニについて，公衆衛生情報みやぎ，424, 5-9(2013)
- 19) 前田 健：重症熱性血小板減少症候群(SFTS)ウイルスの分離から最新の知見まで，化学療法の領域,30, 291-304(2014)

福井県における微小粒子状物質 (PM2.5) の挙動 (第4報)

—平成22～25年度の調査結果から—

泉 宏導・酒井忠彰・谷口佳文・福島綾子

Characteristics of PM2.5 in Fukui Prefecture (4)

- Analysis of FY2010-2013 Data -

Hiromichi IZUMI, Tadaaki SAKAI, Yoshifumi TANIGUCHI, Ayako FUKUSHIMA

1. はじめに

健康被害の原因となることが懸念され平成21年に環境基準が定められたPM2.5について、福井県内の濃度の実態を把握し、今後の常時監視体制構築や発生源対策の基礎資料となる知見を得るため、平成22年度より自動測定機による調査を開始した。

本報では、平成25年度までの測定データをもとに、PM2.5の実態について解析した結果を報告する。

2. 調査方法

平成22年度より2台の自動測定機(表1)により、1地点(福井局)は通年測定(注)、他地点(県大気汚染測定局16局、自排局を含む)は測定機を移設しながら調査を開始した。平成25年3月より同一機器を追加整備し、通年測定を6局体制で(図1)調査を行った。

表1 PM2.5測定機

型式: APDA-3750A ((株)堀場製作所製)
測定原理: β 線吸収方式
PM2.5分粒方式: VSCCサイクロン方式

(注)福井局の測定機は環境省のPM2.5モニタリング試行事業で導入したものであり、測定データは環境省に帰属する。

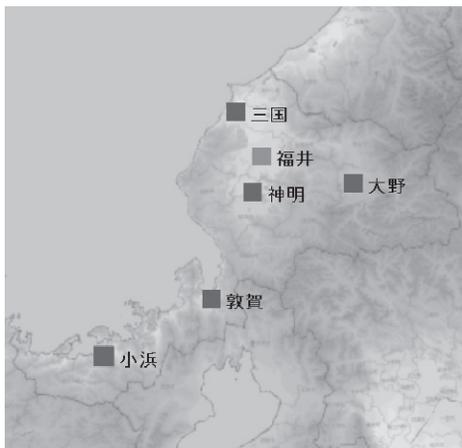


図1 PM2.5通年測定局配置図

3. 結果および考察

3.1 福井局のPM2.5濃度

福井局の年平均値(表2)は、22年度は $15.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で環境基準(「 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下」)非達成、23年度は $13.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、24年度は $14.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と環境基準を達成し、減少する傾向に見えたが、25年度は $16.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と環境基準非達成となった。PM2.5濃度の長期傾向の判断には、さらなる測定データの蓄積が必要である

また、日平均値の環境基準達成評価(年間98パーセンタイル値)では、22年度は $46.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で環境基準(「 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下」)非達成であったが、23年度は $32.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、24年度は $35.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と環境基準を達成していた。しかしながら、25年度は $44.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と年平均値同様、環境基準を超過した。

表2 福井局PM2.5濃度[単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

	22年度	23年度	24年度	25年度
年平均値	15.9	13.5	14.8	16.5
日平均値	46.1	32.6	35.0	44.9

また、PM2.5とSPM、NOx、Oxの関係について、全測定期間(図2)、夏季のみ、PM2.5高濃度日($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過時、以下同じ)と区別して関連性を見たところ、いずれの場合もPM2.5-SPM間には高い相関があったが、PM2.5-NOx間の相関は低かった。PM2.5の二次生成機構研究により関連性が示唆されているPM2.5とOxについては、福井局においては高い相関は見られなかった。

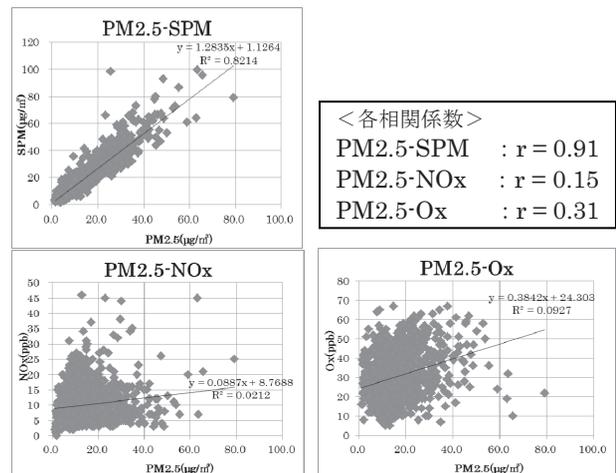


図2 PM2.5と他汚染物質との関係(日平均値)
＜福井局の全測定期間H22～H25＞

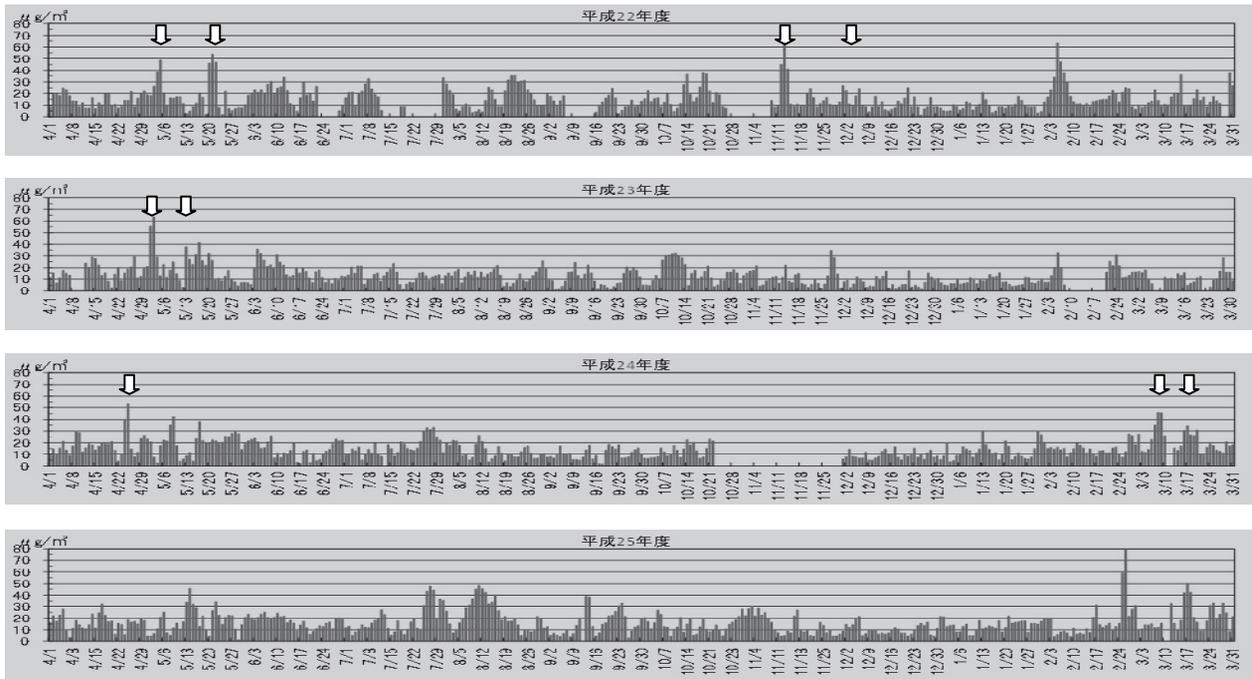


図3 福井局のPM2.5日平均値の年間変動（□は黄砂観測日²⁾）

3.2 平成24年度までと平成25年度の比較

図3に22~25年度の福井局のPM2.5日平均値の年間変動を示した。

平成24年度までの特徴として、これまでの報告（センター年報11³⁾）により次の知見が得られている。①黄砂日に高濃度となる率が高い②県内各地の測定と福井局では日平均濃度の変動パターンが類似している。③高濃度日は冬（2月頃）から春（5月頃）にかけて多く出現しており、これは全国的な傾向である。

これに対して、平成25年度は過去の年度に比べ濃度が高く、夏季および2月後半以降に高濃度が多く出現した。

平成25年度に通年測定を行った6局の日平均濃度変動を図4に示す。通年測定を行ったすべての局の日平均濃度変動パターンは類似しており、平成22年から通年測定を行っている福井局とのアベレージ比は0.85~1.04、相関係数は0.93~0.98と高い相関があった。（表3）

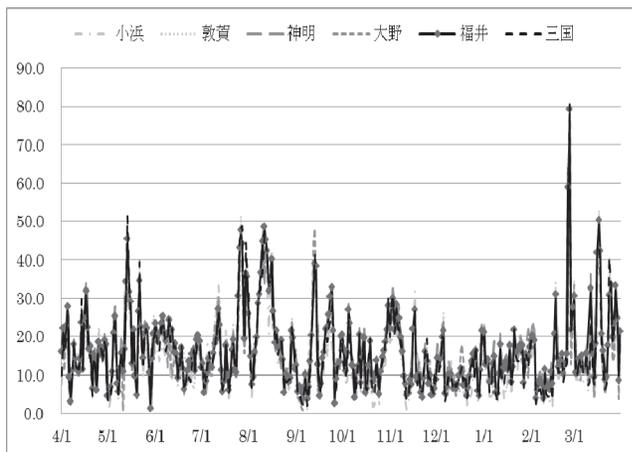


図4 PM2.5日平均値の濃度変動（平成25年度）

表3 PM2.5日平均濃度（平成25年度）福井局との比較

（同日測定日）	小浜	敦賀	神明	大野	三国
福井とのave比	0.8505	0.9658	1.0413	0.9301	0.9477
相関係数	0.9343	0.9485	0.9797	0.9477	0.9757

これらのことから、PM2.5は広域性の強い大気汚染物質といえる。

また、月別平均値（図5）で季節変動をみると、局毎の変動傾向は同じであるが、地点により濃度差が見られた。また、22~24年度とは異なり、冬から春にかけてだけでなく7、8月の濃度（日平均値の月別平均値）が高くなった。

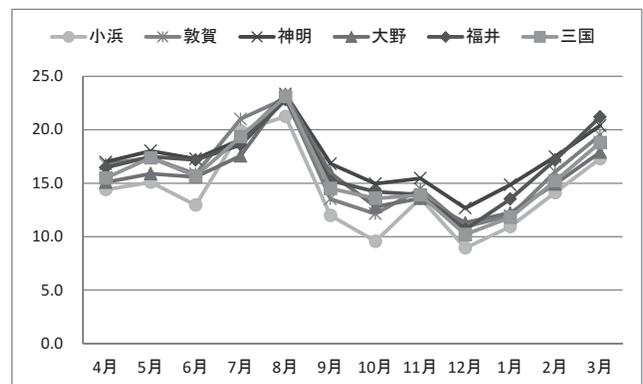


図5 PM2.5月別平均値（平成25年度）

3.3 県内濃度分布

平成25年度の濃度分布を表4に示す。なお、通年測定を行った局については年平均値、移動機器による測定を行った局については、福井局との平行試験データの比と福井局年平均値により算出した値に、さらに機差補正し推定年平均値を求めた。

これらの値を比較すると、福井局や敦賀局などの市街地、神明局などの工場近隣地、および自動車排ガス局の濃度が

高い傾向にあることが見て取れる。また推定値ではあるが、平成25年度は県内17測定局のうち14局で環境基準(年平均)を超えていた可能性がある。

表4 平成25年度県内濃度分布

年平均値<通年測定局> ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
地点	小浜	敦賀	神明	大野	福井	三国
PM2.5	14.2	16.1	17.2	15.4	16.5	15.7
推定年平均値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
地点	今立	武生	自排福井	金津	坂井	麻生津
PM2.5	14.2	14.9	16.3	15.6	16.3	16.5
(測定期間)	4/1-4/30	5/2-6/2	6/4-7/2	7/4-8/4	8/6-9/4	9/6-10/6
地点	センター	自排丹南	和久野	自排敦賀	三方	
PM2.5	15.4	24.6	14.7	15.3	15.6	
(測定期間)	10/8-11/5	11/7-12/5	12/7-1/8	1/10-2/9	2/11-3/11	

3.4 高濃度日出現状況

平成25年度PM2.5濃度の高濃度日を表5に示す。

表5 高濃度日の出現状況 (平成25年度) $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	小浜局	敦賀局	神明局	大野局	福井局	三国局
25/5/14	39.5	36.8	42.2		45.6	51.4
25/5/22		37.8	36.7			39.5
25/7/26	41.6	39.7	40.6	35.4	43.1	45.1
25/7/27	45.8	51.3	44.7	39.8	47.8	48.2
25/7/28	44.1	43.4	43.7	36.9	44.2	48.8
25/7/30		41.8	35.5		36.6	44.4
25/7/31		36.8	35.3	38.8	35.6	
25/8/9	39.4	41.1	38.0	39.2	36.8	
25/8/10	42.7	40.1	41.5	46.1	44.9	39.0
25/8/11	42.1	45.5		44.9	48.6	46.6
25/8/12	41.7	42.7	43.0	38.2	45.8	46.0
25/8/13		40.0	39.0	36.3	42.3	41.2
25/8/15		38.5	35.8	36.5		
25/8/16	42.0	38.1	40.8	36.7	40.2	40.3
25/9/12	37.9		38.9	45.0	欠測	
25/9/13	39.3	37.6	36.9	48.2	39.0	41.2
25/9/14					38.4	
26/2/25	55.8	61.3	57.5	49.2	59.0	57.1
26/2/26	65.0	65.0	69.3	52.1	79.3	80.6
26/3/12				36.5		
26/3/16	38.3	39.8	41.1	35.7	42.0	40.8
26/3/17	47.2	53.0	49.5	44.4	50.3	48.6
26/3/18		42.6	38.6	35.8	42.4	
26/3/24	38.5	40.3				40.5

福井局での高濃度日は、測定を開始してから最も多かった平成22年度の18日を上回る19日となったが、これまで高濃度日との関連が示唆されている黄砂観測日は1日もなかった。また、月平均濃度の推移と同様に高濃度日も冬から春にかけてだけでなく夏季(7~9月)に多く出現した。その原因は、後方汚染線解析や大気汚染微粒子飛来予測から、気圧配置など気象条件に伴う東アジアからの越境汚染と、国内移流の複合的要因によるものと考えられる。

表5の網掛けは高濃度日毎の最高濃度を示しているが、年平均値の高い神明局および福井局の頻度が高いわけではなかった。

3.5 県内各局の時間変動

図6に25年度の通年測定局のPM2.5濃度の時刻変動を示す。

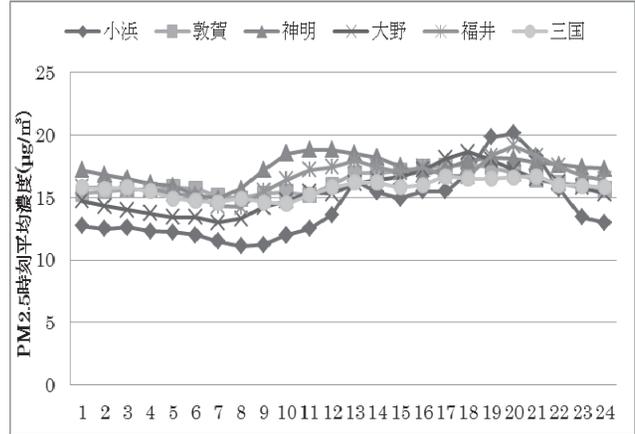


図6 PM2.5時刻平均濃度 (平成25年度)

濃度に差があるもののすべての局で8時付近に最小値を示した後、徐々に上昇し、その後小浜局以外は同じような変動パターンを示した。こうした濃度変動の要因として、日照や人為的活動が濃度変動に影響しているのではないかと考えられるが、原因物質や発生源が究明されていないため、推測の域を出ない。

3.6 平成26年2月の高濃度事例

PM2.5が大気汚染物質で健康に影響を及ぼす可能性があることが認知され、住民の注意意識が継続して高まっている。福井県が定めているPM2.5注意喚起マニュアルでは、1日平均値が $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えると予想される場合に注意喚起を実施することとなっている。その判断基準は、①測定局の内のいずれかの局で、5時から7時の1時間値の平均値が $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた場合、②測定局の内のいずれかの局で、5時から12時までの1時間値の平均値が $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた場合である。

なお、この基準の値については本研究のデータを基に定められた。

表6 平成26年2月26日の濃度状況 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

2月26日	小浜	敦賀	神明	大野	福井	三国
5~7時平均	62.7	75.0	64.3	63.3	74.7	75.3
5~12時平均	60.8	76.0	68.6	61.8	78.5	76.8
日平均濃度	65.0	65.0	69.3	52.1	79.3	80.6

表6に平成26年2月26日の濃度状況を示す。この日の5時から12時の1時間の平均値が $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えたため、福井県で初めて注意喚起を行った。

実際の日平均値では、福井局および三国局で環境省指針となる $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた。ここで、平成26年2月25日から27日の状況について、考察を行う。

図7にPM2.5時間濃度の推移を示す。

濃度上昇時に着目すると、大野局のみ遅れ、他の局はほぼ同時に上昇している。各測定局の位置関係から考えると、高濃度で広範囲の気塊が北西から飛来したのではないかと推察できる。

濃度下降時においては、局ごとに時間の差が見られ、その共通する要因は、今回のケースでは「北寄りから南寄りへの風の変化」であった(表7)。これらのことから、高濃度の気塊は福井県に到達した後、ほとんど南下せず、南寄りの風によって高濃度の域を脱したのではないかと考えられる。

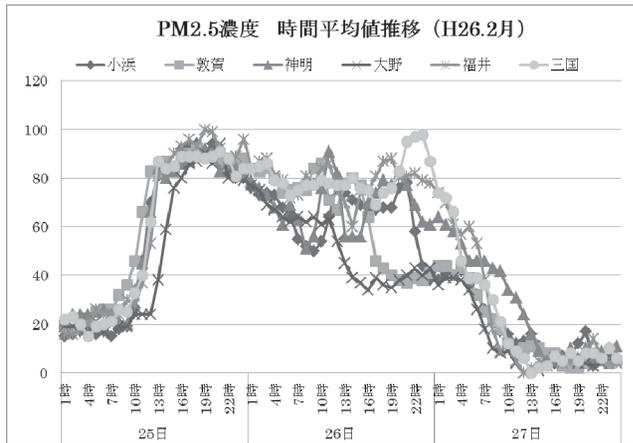


図7 平成26年2月25～27日PM2.5濃度推移

表7 平成26年2月26日風況

	26日 風の状況
三国	12時より北寄り24時より南寄り
福井	13時より北寄り20時より南寄り (1m以下)
神明	11時より北寄り21時より南寄り
大野	10時より南寄り
敦賀	11時より北寄り16時より南寄り
小浜	11時より北寄り20時より南寄り

また、27日の6～7時の雨量観測とともに $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下への急激な下降が見られ、雨による濃度減少とも考えられるが、これらの濃度変化の要因については、今後のデータの蓄積および解析が必要である。

2月26日に日平均値が $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ をこえた府県は、福島、新潟、富山、石川、福井、大阪、兵庫、香川であり、北陸を中心として広域的に高濃度となった。

ここで、同日の北信越地域の状況を図8に示す。

なお、石川県は白山市馬場の松任局、富山県は射水市中太閤山の小杉太閤山局、新潟県は新潟市東区の大山局の速報値⁴⁾である。

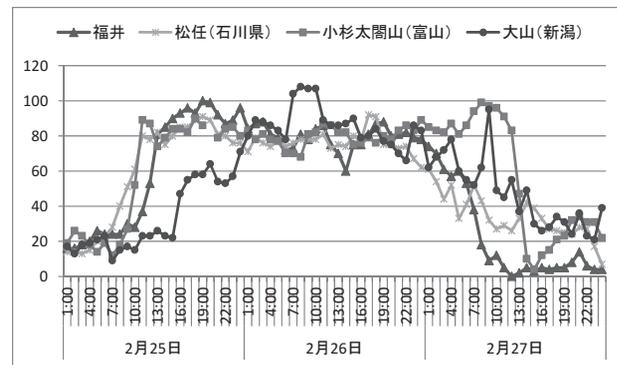


図8 平成26年2月25～27日北陸PM2.5濃度推移

高濃度気塊がどの地域からのものかを推定するため、図9に2月26日0時を起点とした5日間の後方流跡線解析 (NOAA HYSPLIT MODEL)⁵⁾を示す。

各県の濃度変動パターンおよび後方流跡線解析の結果から、2月26日の高濃度は同一セクターである北東アジアからの気塊によりもたらされたと考えられる。

なお、環境省からの発表⁶⁾では、大陸からの越境汚染と、移動性高気圧の影響により都市汚染も含めて大気汚染物質が底流しやすい状況にあったことが複合して濃度上昇となった可能性が高いとされている。

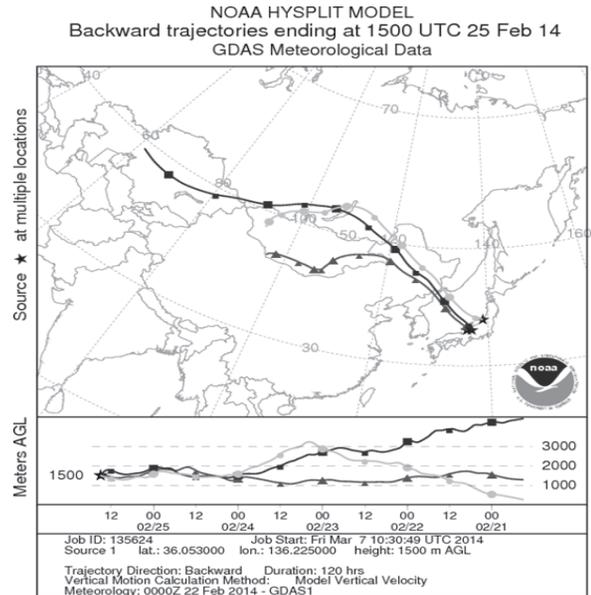


図9 2月26日0時を起点とする後方流跡線解析

4. まとめ

22～25年度の測定および解析結果から本県のPM2.5の実態について以下のことが分かった。

- ①福井局のPM2.5濃度は、22年度は環境基準非達成、23、24年は達成となったが、25年度は福井局を含め通年測定を行った県内すべての観測局で環境基準非達成となった。
- ②季節変動について、22～24年度の3年間では、高濃度が冬から春にかけて多くみられたが、25年度は夏に多く出現しており、これは全国的な傾向であった。
- ③県内各地の日平均濃度パターンは類似しており、またその濃度は同程度で相関も高い。これより本県のPM2.5濃度は広域汚染による寄与が大きいことが示唆される。
- ④平成26年2月の注意喚起となった高濃度事例では、高気圧の動きに合わせ北東アジアからの越境汚染の影響が原因である可能性が高いと考えられる。

参考文献

- 1) 東京都微小粒子状物質検討会報告書 (平成23年7月、東京都微小粒子状物質検討会)
- 2) 気象庁ホームページ>気象統計情報>地球環境・気候> [地球環境のデータバンク] 黄砂
- 3) 福井県における微小粒子状物質 (PM2.5) の挙動 (第3報), 福井県衛生環境研究センター年報, 11, 1348-8007 (2012)
- 4) 石川県保健環境センターホームページより
<http://www.pref.ishikawa.lg.jp/hokan/pm/pmkako.html>
 富山県環境科学センターホームページより
<http://www.eco.pref.toyama.jp/mente/mente.html>
 新潟市環境部環境対策ホームページより
<http://taiki.city.niigata.lg.jp/newsflash.php>
- 5) NOAA (米国海洋大気圏局) HYSPLIT MODELより
<http://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>
- 6) 環境省 平成26年2月25～27日のPM2.5の濃度上昇について
<http://www.env.go.jp/air/osen/pm/attach/info140304-01.pdf>



福井県におけるヒトボカウイルスの検出

平野映子・野田希・小和田和誠・中村雅子・大村勝彦

Detection of Human Bocavirus in Fukui Prefecture

Eiko HIRANO, Nozomi NODA, Kazuaki KOWADA, Masako NAKAMURA, Katsuhiko OMURA

1. はじめに

ヒトボカウイルス (HBoV) はパルボウイルス科パルボウイルス亜科ボカウイルス属に属し、全長約 5.3kb の一本鎖 DNA ウイルスである¹⁾。ヒトに疾患を起こすパルボウイルスは伝染性紅斑熱の原因であるパルボウイルス B19 のみと考えられていたが、HBoV は 2005 年にスウェーデンにおいて急性呼吸器感染症患者から発見された²⁾新しいパルボウイルスであり、その後各国からも同様の報告がされている³⁻⁶⁾。HBoV の遺伝子型は 1~4 型 (Group 1~4) が報告されており、Group 1 は主に呼吸器検体、Group 2、3 および 4 は主に便検体から検出されている⁷⁾。

HBoV は主に小児の呼吸器疾患を引き起こし、症状は他の呼吸器ウイルスと同様に、発熱、咳嗽および鼻汁等であるが、喘鳴や肺炎を引き起こし重症化した報告^{8,9)}もある。

福井県ではこれまで呼吸器感染症におけるウイルスサーベイランスとして、インフルエンザウイルス、Respiratory Syncytial ウイルス (RSV)、ヒトメタニューモウイルス (HMPV)、ライノウイルス (HRV) およびアデノウイルス (AdV) などの検出を主に実施してきたが、年により約 45% の検体において起因ウイルスが特定されていない¹⁰⁾。そこで、県内の呼吸器感染症への HBoV の関与を把握するため新たに HBoV の検出を実施したのでその結果を報告する。

2. 方法

2.1 検査材料

2007 年 1 月~2013 年 12 月に県内の医療機関を受診し、インフルエンザ様疾患を除く上気道炎、下気道炎等の呼吸器感染症を呈した患者から採取された咽頭拭い液、鼻汁および鼻腔拭い液等 927 検体を試験に供した。各々の年の供試検体数は 2007 年は 131 検体、2008 年は 147 検体、2009 年は 75 検体、2010 年は 127 検体、2011 年は 99 検体、2012 年は 67 検体および 2013 年は 281 検体であった。

供試検体の患者年齢は 0~91 歳 (平均: 4.3±12.3 歳、中央値: 1.8 歳) であった。0~6 歳児から採取された検体が多く (839 検体)、その検体数を表 1 に示す。

表 1 供試検体数 (0~6 歳児)

年齢	0	1	2	3	4	5	6
検体数	212	254	161	98	55	33	26

2.2 検査方法

2.2.1 PCR 法

臨床検体を 0.22 μm 滅菌フィルターで濾過した濾液 200 μL から EZ1 Virus Mini Kit v2.0 (QIAGEN) を用いてウイルス遺伝子抽出液 60 μL を得た。Allander らの方法²⁾に準じて NP1 領域の一部を PCR 法により増幅した。

2.2.2 全長ゲノム解析

Chieochansin らの方法¹¹⁾に準じ、全領域遺伝子を 9 領域に分けて PCR を行い、各々の領域の増幅産物を精製後 Applied Biosystems 3130 Genetic Analyzer (Life Technologies) を用いてダイレクトシーケンシング法により塩基配列を決定した。Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) version 5¹²⁾を用いて近隣結合法 (Neighbor Joining, NJ 法) により系統樹を作成し、ブートストラップは 1000 回実施した。

3. 結果および考察

3.1 検出状況

供試検体 927 検体のうち 46 検体から HBoV が検出された。年別の検出率は 2007 年は 7.6%、2008 年は 7.4%、2009 年は 4.0%、2010 年は 5.5%、2011 年は 3.0%、2012 年は 3.0% および 2013 年は 3.6% であり、平均検出率は 5.0% であった。世界各国からの報告されている HBoV の平均検出率は 5% 前後とする報告が多く¹³⁾、県内における検出率も同等であった。

HBoV は秋や冬の風邪のシーズンに流行するとも言われていたが、流行に季節性はなく通年的な感染を引き起こすと推定されている¹⁾。本調査でも 7 月と 9 月以外のすべての月で検出されており、特に 5 月に多く検出されていたが、調査期間内の流行に季節性はみられなかった。また、すべての年において HBoV が検出され、年による流行の偏りもみられなかった (表 2)。

表 2 検体採取年月別 HBoV 検出数

年 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
2007					4			1				5	10
2008	3	2			3	2		1					11
2009		1				1						1	3
2010			1		3			1		1	1		7
2011	1			2									3
2012				1				1					2
2013		1	2		2	3		1		1			10
計	4	4	3	3	12	6	0	5	0	2	1	6	46

3. 2 HBoV 陽性者の年齢分布

HBoV 陽性者の年齢は 0～3 歳 (平均: 1.4±0.8 歳) であった (図 1)。1 歳児からの検出数が最も多く (47.8%)、次いで 0 歳児 (28.3%)、2 歳児 (13.0%)、3 歳児 (10.9%) であった。北海道における血清を用いた抗 HBoV 抗体価を測定した結果により、HBoV は生後 6 ヶ月から感染が始まり 5 歳までにはほとんどが感染するといわれている¹⁴⁾。県内における HBoV 陽性者の年齢はすべて 3 歳以下であり、生後 1 ヶ月および 4 ヶ月の乳児からも検出されており、4 歳以上の患者からは検出されなかった。北海道における抗体調査の結果に比べ、県内における調査では 0～3 歳とより低年齢層の小児における呼吸器感染症に関与していることが示唆された。

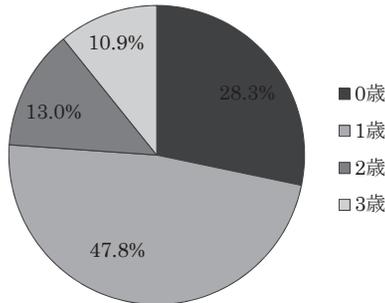


図 1 HBoV 陽性者の年齢分布

3. 3 HBoV 陽性者の臨床症状

HBoV 陽性者の臨床症状について解析した (表 3) と、発熱が 46 例中 42 例 (91.3%) と最も多かった。次いで 25 例が下気道炎、10 例が上気道炎と呼吸器症状を呈していた。HBoV は呼吸器感染症およびその重症化にも関与していることが知られており^{8,9)}、今回の調査でも HBoV 陽性者の半数以上が下気道炎を呈していたことから、県内においても HBoV は呼吸器感染症の重症化に関与していることが示唆された。

その他の症状として、鼻汁 6 例、咳 2 例、結膜炎 2 例、中耳炎 1 例、発疹 1 例および胃腸炎 1 例であった。

無症状のコントロール検体や HBoV に感染後 3 カ月以上経過した患者検体から HBoV が検出された報告もあり¹⁵⁾、感染症とウイルスの因果関係については不明な点も多く今後も継続した調査が必要である。

3. 4 重複感染

HBoV と同時に他の呼吸器ウイルスについても検出を行ったところ、HBoV が検出された 46 例のうち 28 例 (60.8%) において RSV や HRV 等との重複感染が確認された。内訳は RSV が 13 例、HMPV が 4 例、HRV が 5 例、AdV が 3 例、B 群コクサッキーウイルス 3 (CoxB3) が 1 例、ピコルナウイルスが 1 例、HRV および AdV との 3 種類での混合感染が 1 例であった (図 2)。

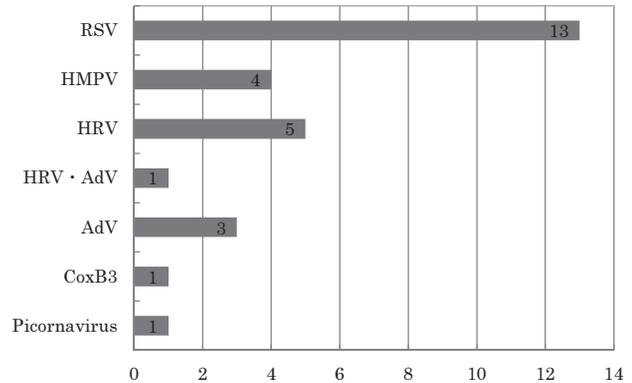


図 2 HBoV と同時に検出されたウイルス

調査期間 (2008 年～2013 年) は異なるが他の呼吸器ウイルスについて重複感染の割合を調査したところ、RSV では 14.4% が重複感染しており、HRV および HBoV が同時に検出される例が多かった。HRV では 16.9% が重複感染しており、RSV、AdV、HBoV および HMPV が同時に検出された。HMPV では 18.0% が重複感染しており AdV が同時に検出される例が多かった。HBoV が検出された呼吸器感染症では HBoV 以外のウイルスが同時に検出されることが多いといわれており¹⁶⁾、今回の調査でも HBoV は他の呼吸器ウイルスに比べても重複感染例の割合が非常に高かった。

HBoV 単独での感染と他の呼吸器ウイルスとの重複感染における患者症状について比較したところ、小児における呼吸器感染症で重症化することが知られている RSV および HMPV¹⁷⁾ との重複感染例において、下気道炎を呈している割合 (RSV: 9/13 例、HMPV: 4/4 例) が高かった (表 3)。HBoV、RSV、パラインフルエンザウイルスおよ

表 3 臨床症状

検出ウイルス	検出数	症状								
		発熱	上気道炎	下気道炎	鼻汁	咳	結膜炎	中耳炎	発疹	胃腸炎・下痢
HBoV	18	15	6	10	2	2	1	1	1	
HBoV・RSV	13	12	0	9	3					
HBoV・HMPV	4	4	0	4						
HBoV・HRV	5	5	2	1		1				
HBoV・HRV・AdV	1	1	1	0						
HBoV・AdV	3	3	1	0						1
HBoV・CoxB3	1	1	0	1						
HBoV・Picornavirus	1	1	0	0	1					
計	46	42	10	25	6	2	2	1	1	1

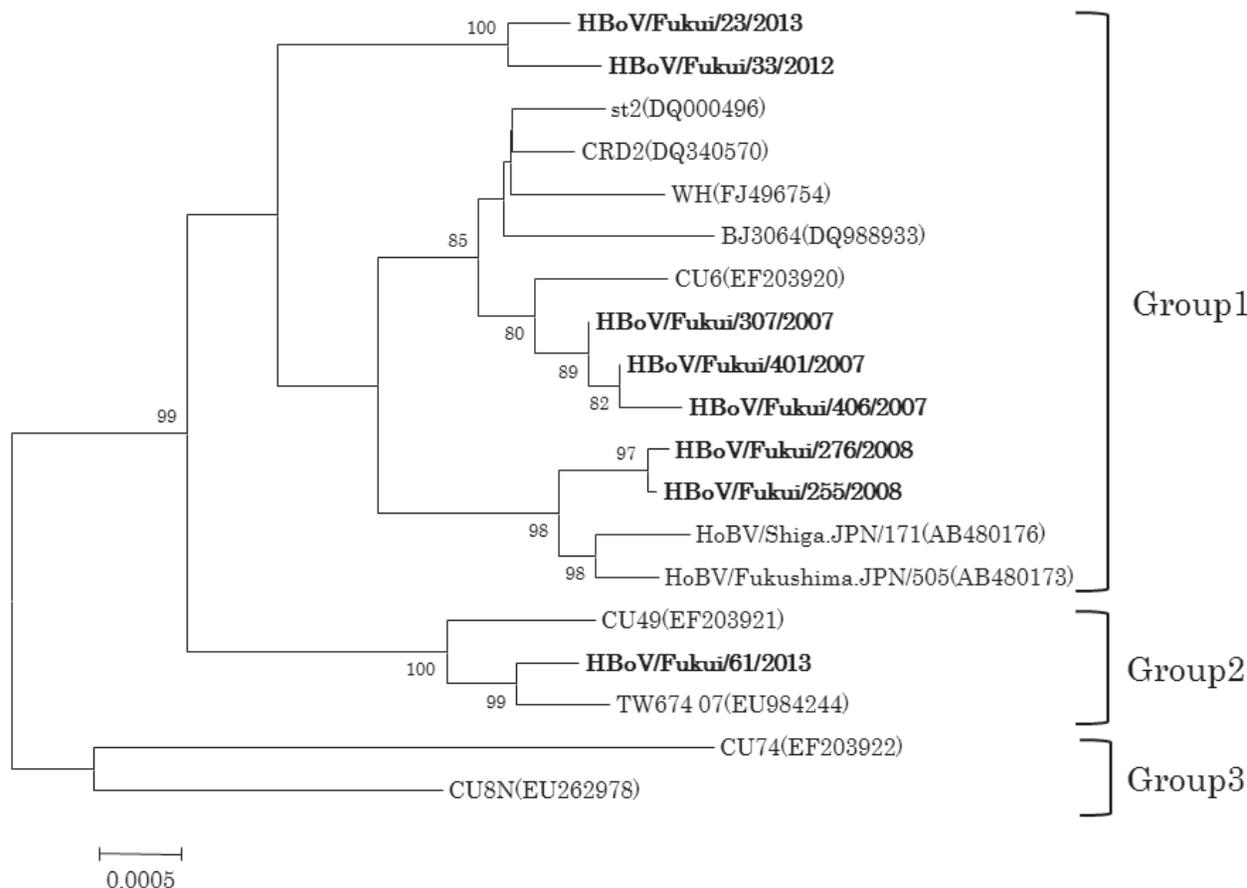


図3. HBoV 系統解析 (full-length : 5299nt)

び HRV に単独で感染した例に比べ、HBoV と重複感染した例のほうが喘鳴を伴う患者の割合は高く、重複感染の例では単独のウイルスに感染した例に比べ重症化すると言われている⁹⁾。しかし、重複感染が確認された例では、実際に感染症がどのウイルスに起因していたかの確定は困難であり、感染における重症化が重複感染によるものか、RSV および HMPV 感染によるものかは不明であり、解明については更に調査が必要である。

HBoV についてはリアルタイム法によりウイルスの定量を行う方法も報告されている¹⁸⁾。コピー数が少ない場合に HBoV を起因ウイルスとは確定し難いが、検体採取病日によりコピー数も変化することもあり、起因ウイルスの特定については今後も検討が必要である。

3. 5 全長ゲノム解析

検出された 46 例のうち 8 例について全領域シーケンス (5299nt) および系統樹解析を実施した結果、7 例が Group 1、1 例が Group 2 に分類された (図 3)。国内でも Group1、Group2 および Group3 が検出されたとの報告があるが、主に検出されているのは Group 1 であり¹⁹⁻²¹⁾、県内においても同様の結果となった。

しかし、臨床症状や発生時期等と Group との関連等については未だ解明されていないことが多い。また、今回は全領域シーケンスを実施した株数が 8 株と少なく県内の浸潤状況を十分に把握できていないため、継続した調査が必要である。

4. まとめ

2007 年から 2013 年に福井県内の呼吸器感染症を呈した患者から採取された咽頭拭い液を用いて HBoV 検出を試みたところ、供試検体 927 検体中 46 検体から検出された。HBoV が検出された 46 例のうち 8 例について系統解析を行ったところ、7 例は Group 1 および 1 例は Group2 に分類された。

これまで福井県内における浸潤状況は不明であった HBoV も県内において小児の呼吸器感染症に関与していることが示唆された。

HBoV 陽性検体のうち約 60%の検体から他の呼吸器ウイルスも同時に検出された。HBoV による呼吸器感染症については依然として不明な点も多いため、更なる疫学情報等の蓄積が必要である。

謝辞

検体の採取の御協力を賜りました各健康福祉センター、医療機関の方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) 田代真人他: ウイルス感染症の検査・診断スタンダード, p.61-66, 羊土社, 東京 (2011)
- 2) Allander, T., et al.: Cloning of a human parvovirus by molecular screening of respiratory tract samples, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, **102**, 12891-12896 (2005)
- 3) Maggi, F., et al.: Human bocavirus in Italian patients with respiratory diseases, *J. Clin. Virol.*, **38**, 321-325 (2007)
- 4) Xu, L., et al.: Surveillance and Genome Analysis of Human Boca virus in Patients with Respiratory Infection in Guangzhou, China, *PLoS ONE.*, **7**, e44876 (2012)
- 5) Abdel-Moneim, A.S., et al.: Detection of Bocavirus in Children Suffering from Acute Respiratory Tract Infections in Saudi Arabia, *PLoS ONE.*, **8**, e55500 (2013)
- 6) Chieochansin, T., et al.: Determination and analysis of complete coding sequence regions of new discovered human bocavirus types 2 and 3, *Arch. Virol.*, **155**, 2023-2028 (2010)
- 7) 水田克己: RS、メタニューモ、ボカ、アデノウイルス, *臨床と微生物*, **39**, 669-675 (2012)
- 8) Allender, T., et al.: Human Bocavirus and Acute Wheezing Children, *Clin. Infect. Dis.*, **44**, 904-910 (2007)
- 9) Fry, A.M., et al.: Human Bocavirus: A Novel Parvovirus Epidemiologically Associated with Pneumonia Requiring Hospitalization in Thailand, *J. Infect. Dis.*, **195**, 1038-1045 (2007)
- 10) 中村雅子他: サーベイランスにおける呼吸器感染症からのウイルス検出(2010年度), 福井県衛生環境研究センター年報, **9**, 93-96 (2010)
- 11) Chieochansin, T., et al.: Complete coding sequences and phylogenetic analysis of Human Bocavirus (HBoV), *Virus Res.*, **129**, 54-57 (2007)
- 12) Tamura, K., et al.: MEGA5: molecular evolutionary Genetics analysis using maximum parsimony methods, *Mol. Biol. Evol.*, **28**, 2731-2739 (2011)
- 13) Ma, X., et al.: Detection of Human Bocavirus in Japanese Children with Lower Respiratory Tract infections, *J. Clin. Microbiol.*, **44**, 1132-1134 (2006)
- 14) Endo, R., et al.: Seroepidemiology of Human Bocavirus in Hokkaido Prefecture, Japan, *J. Clin. Microbiol.*, **45**, 3218-3223 (2007)
- 15) Jula, A., et al.: Primary and Secondary Human Bocavirus 1 Infections in a Family, Finland, *Emerg. Infect. Dis.*, **19**, 1328-1331 (2013)
- 16) 石黒信久他: ヒトボカウイルス感染症, *モダンメディア*, **53**, 259-266 (2007)
- 17) Tsukagoshi, H., et al.: Molecular epidemiology of respiratory viruses in virus-induced asthma, *Front. Microbiol.*, **4**, 278 (2013)
- 18) Kantola, K., et al.: Real Time quantitative PCR Detection of Four Human Bocaviruses, *J. Clin. Microbiol.*, **48**, 4044-4050 (2010)
- 19) Igarashi, I., et al.: Phylogenetic analysis of human bocavirus (HBoV) detected from children with acute respiratory infection in Japan, *J. Infect.*, **58**, 311-313 (2009)
- 20) 平良勝也他: 沖縄県における重症呼吸器ウイルスサーベイランス-特にヒトボカウイルス (HBoV) の疫学・分子系統解析について-, 新型インフルエンザ等新興・再興感染症研究事業「重症呼吸器ウイルス感染症のサーベイランス・病態解明及び制御に関する研究」平成 22 年度総括・分担研究報告書, 26-30 (2011)
- 21) 矢野拓弥他: 呼吸器感染症を呈した乳幼児から検出されたヒトボカウイルスの遺伝子系統樹解析および流行疫学 (2011 ~ 2013 年) - 三重県, *IASR*, <http://www.nih.go.jp/niid/ja/2014-02-19-09-27-24/1747-source/respirology/idsr/iasr-news.html>

福井県におけるエンテロウイルス系疾患からの病原体検出 (平成22～25年度)

小和田和誠・平野映子・野田希・大村勝彦

Detection of Enteroviruses in Fukui Prefecture, 2010-2013

Kazuaki KOWADA, Eiko HIRANO, Nozomi NODA, Katsuhiko OMURA

1. はじめに

エンテロウイルス (以下 EV) は、ピコルナウイルス科エンテロウイルス属に分類されるエンベロープを持たない一本鎖 RNA ウイルスである。EV は、主に糞口感染により腸管内で増殖し、不顕性感染や、熱性疾患、発疹性疾患および中枢神経疾患など、多種多様な疾患の発症に関与することが知られている¹⁾。

EV は A～J の種があり、ヒトに感染するものは A～D に分類される。さらに、EV は 100 を超える血清型が報告されており²⁾、血清型の違いによって誘発される疾患に特徴があることが知られている。例えば、急性灰白髄炎 (ポリオ) を誘発する EV は、ポリオウイルス 1～3 型が多く、手足口病を誘発する EV は、A 群コクサッキーウイルス (CoxA) 16 型およびエンテロウイルス 71 型 (EV71) が多い^{1),3)}。多くの疾患に関与する EV の流行動態の把握は、保健衛生上重要である。

感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律 (感染症法) では、EV が主な原因となるポリオ、無菌性髄膜炎、手足口病、ヘルパンギーナ、急性出血性結膜炎が届出対象疾患とされており、福井県においても上記疾患の患者検体から病原体検出を実施してきた。

本報では、平成22～25年度に県内で採取された EV 関連疾患疑い患者から検出された EV について報告する。

2. 方法

2.1 検査材料

当センターに検査依頼があった県内在住の EV 関連疾患疑い患者で、平成22～25年度 (平成22年4月～26年3月) に採取された検体を対象とした。

検査対象の患者数は計165名、検体数は計228検体で、検体の内訳は、糞便64検体、髄液57検体および咽頭拭い液107検体であった。1名の患者につき3種類の検体 (糞便・髄液・咽頭拭い液) 全てが揃ったのは、18名 (10.9%) であった。

臨床診断名別では、無菌性髄膜炎40名、手足口病30名、ヘルパンギーナ11名およびその他の EV 関連疾患疑い疾患 (発疹症、脳炎、不明熱など) 84名であった。ポリオおよび急性出血性結膜炎の検体はなかった。

2.2 検査方法

糞便は滅菌水で10%乳剤とし、8,500×g、10分間冷却遠心後の上清を試料とした。髄液は、0.22μm 滅菌フィルターで濾過し、濾液を試料とした。咽頭拭い液は、粗遠心後の上清を、0.22μm 滅菌フィルターで濾過し、濾液を試料とした。試料140μL から、QIAamp Viral RNA mini kit (Qiagen) を用いて Total RNA を60μL 抽出した。抽出 RNA 10μL をテンプレートとして、Nix らの CODEHOP VP1 RT-seminested PCR⁴⁾ により VP1 領域の増幅産物を得て、ダイレクトシーケンス法により塩基配列を決定した。シーケンス装置は Applied Biosystems 3130 Genetic Analyzer (Life Technologies) を使用し、Sequencher software version 4.9 (Life Technologies) を用いて解析した。決定した塩基配列は BLAST 検索⁵⁾ を実施し、相同性の最も高い塩基配列からウイルスの遺伝子型を決定した。また、EV71 については、決定した塩基配列からプライマー配列を除いた領域 (324bp) の系統樹解析を実施した。解析ソフトは MEGA5^{6),7)} を使用し、近隣結合法 (NJ 法) により系統樹を作製した。系統樹評価のため1000回のブートストラップを実施した。

3. 結果および考察

検査対象とした EV 関連疾患疑い患者165名228検体のうち、EV が検出されたのは75名94検体であった。検体別の陽性例の内訳 (陽性率) は、糞便24検体 (37.5%)、髄液17検体 (29.8%)、咽頭拭い液53検体 (49.5%) であった。3種類の検体全てから EV が検出された患者は7名であった (表1)。髄液は、糞便および咽頭拭い液に比

表1 3種類の検体が揃った患者の検査結果

No	患者ID	診断名	糞便	髄液	咽頭拭い
1	222065	無菌性髄膜炎	CoxB2	CoxB2	CoxB2
2	222069	無菌性髄膜炎	CoxB2	CoxB2	CoxB2
3	222079	無菌性髄膜炎	Echo6	Echo6	Echo6
4	222113	無菌性髄膜炎	CoxB2	CoxB2	CoxB2
5	222125	無菌性髄膜炎	-	-	CoxB2
6	222126	無菌性髄膜炎	Echo6	Echo6	Echo6
7	222198	エンテロウイルス感染症	-	-	-
8	224023	無菌性髄膜炎	-	-	-
9	224024	無菌性髄膜炎	-	-	-
10	224038	無菌性髄膜炎	CoxA9	CoxA9	CoxA9
11	224073	無菌性髄膜炎	Echo7	Echo7	Echo7
12	224083	脳炎・脳症	-	-	RhV
13	224113	無菌性髄膜炎	Echo7	-	-
14	225032	無菌性髄膜炎	CoxB3	-	-
15	225054	脳炎・脳症	-	-	-
16	225055	脳炎・脳症	-	-	-
17	225059	無菌性髄膜炎	-	-	-
18	225326	無菌性髄膜炎	-	-	-

表2 福井県のEV感染疑い患者からの発病月別の病原体検出状況

診断名	年度	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	計
無菌性髄膜炎	H22				CoxB2 (3) Echo6 (1)	EV71 (1) CoxB1 (1) CoxB2 (1) Echo6 (1)								8
	H23						CoxB1 (1)		CoxB5 (1)	Echo6 (1)				3
	H24		CoxA9 (1)		Echo7 (1)	EV71 (1)	CoxB3 (1) Echo6 (1)		Echo7 (1)					6
	H25		CoxB3 (1)				CoxB3 (2)							3
手足口病	H22				EV71 (1) CoxA16 (1)									2
	H23			CoxA6 (3)	CoxA6 (5)		CoxA10 (2)							10
	H24	CoxA16 (1)				EV71 (1)								2
	H25			CoxA6 (1)	CoxA6 (5)	CoxA6 (2) EV71 (1)	EV71 (1)		EV71 (1)					11
ヘルパンギーナ	H22			CoxA4 (1)	CoxA6 (1)									2
	H23						CoxA10 (1)							1
	H24													0
	H25				CoxA6 (2) CoxA8 (1)		CoxA6 (1)		CoxA5 (1)					5
その他のEV疾患	H22	RhV (1)			CoxA4 (3) Echo6 (2) Echo25 (1)	Echo6 (1) EV68 (1)	EV71 (1)							10
	H23				RhV (1)	CoxB5 (1)	CoxA9 (1) CoxA10 (1)							4
	H24				CoxA9 (1)	RhV (1)				EV71 (1)				3
	H25			CoxB3 (1)	CoxA2 (1) CoxA6 (1)	CoxB3 (1)	CoxB3 (1)							5

※ (内数)・・・陽性患者数

べて検出率が低かった。

無菌性髄膜炎の患者40名のうち、計20名からEVが検出され、内訳は、B群コクサッキーウイルス(CoxB)2、CoxB3およびエコーウイルス(Echo)6が各4名、CoxB1、Echo7およびEV71が各2名、CoxA9およびCoxB5が各1名であった(表2)。

日本国内の無菌性髄膜炎患者からはEchoおよびCoxBの検出が多く⁸⁾、本調査でも検出されたEVの85%(17検体)が該当した。血清型を比較すると、平成18年度に県内の無菌性髄膜炎患者の間でCoxB5が流行した⁹⁾が、

本調査では平成23年度に1名検出されただけであり、各年度によって主流となるものが異なっていた。

手足口病の患者30名のうち、計25名からEVが検出され、内訳はCoxA6が16名、EV71が5名、CoxA10およびCoxA16が各2名であった(表2)。手足口病は例年6月～9月に流行があり、同時期の検体搬入が多かった。また、平成23年度および25年度の検体搬入が多くあり、感染症発生动向調査事業における小児科定点医療機関あたり患者数調査においても平成23年度および25年度は、平成22年度および24年度に比べて流行最大ピーク値および

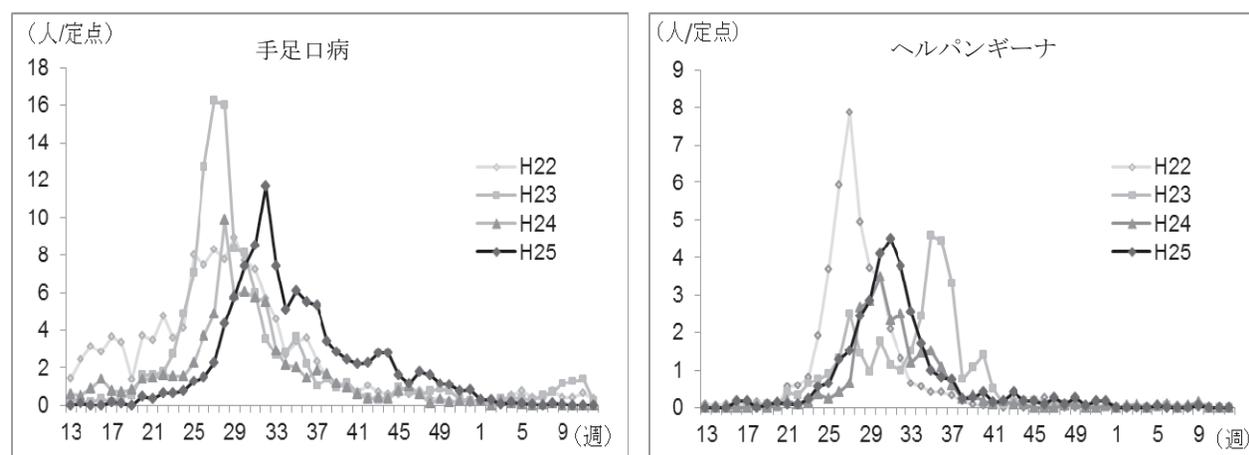
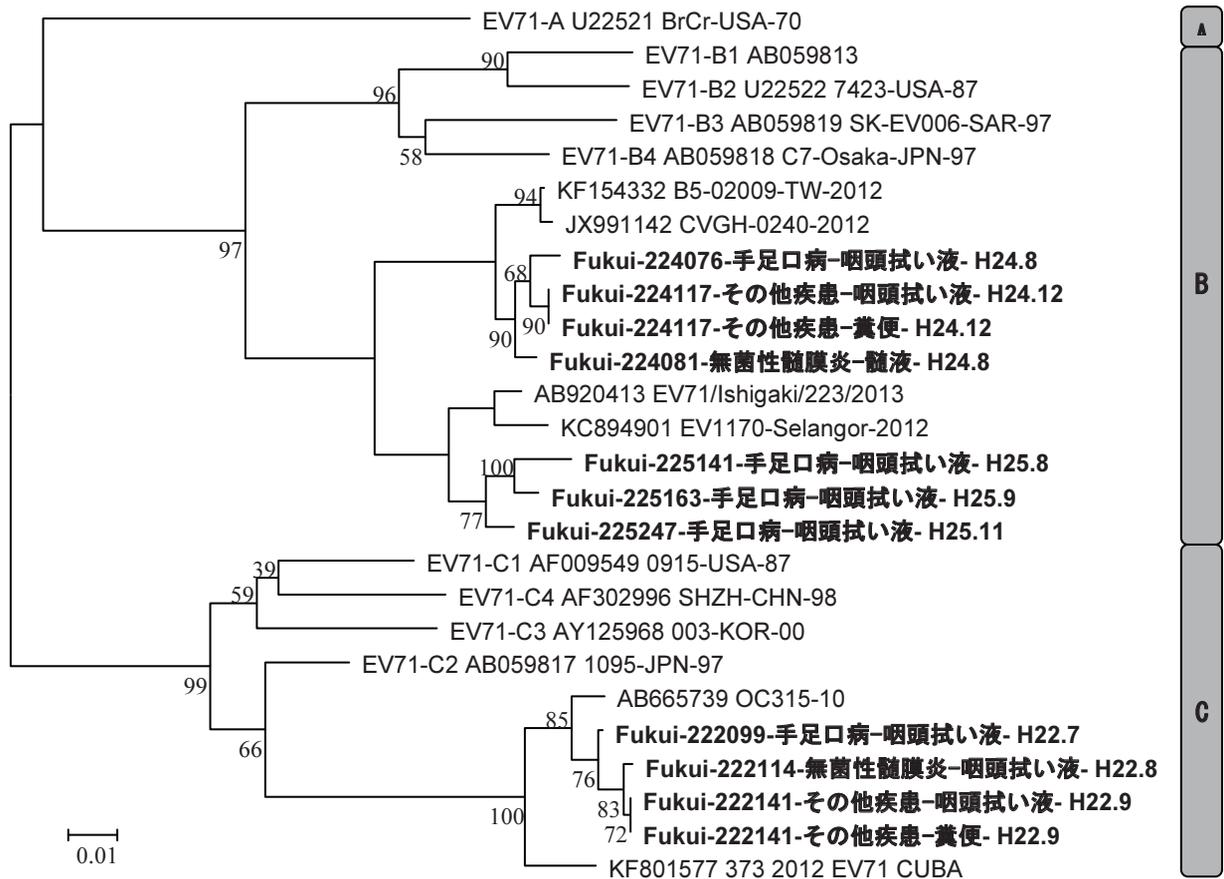


図1 週別の小児科定点医療機関あたり患者数



福井県内検出株・・【Fukui-患者 ID-診断名-検体種類-検体採取年・月】で表記

図2 EV71 の系統樹解析

患者数が多い結果となった(図1)。流行年に検出されるEVは、流行初期からピーク時には主にCoxA6が検出され、流行ピークを超えた後はCoxA10およびEV71が検出されるという傾向が見られた。手足口病は、CoxA10、CoxA16およびEV71が主な原因とされてきた¹⁰⁾が、ヘルパンギーナの主な原因であったCoxA6の検出が近年は多いという報告が全国各地で相次いでおり¹¹⁾、福井県においても同様の傾向が見られる結果となった。CoxA6による手足口病患者の中には上腕、大腿部および臀部の発疹¹²⁾や回復後の爪甲脱落症¹³⁾等の従来の病態と異なる報告もあり、今後の動向が注目される。

ヘルパンギーナの患者11名のうち、計8名からEVが検出され、内訳はCoxA6が4名、CoxA4、CoxA5、CoxA8およびCoxA10が各1名であった(表2)。ヘルパンギーナからはCoxA4、CoxA6、CoxA10等のCoxAが多く検出されることが知られており¹⁴⁾、福井県においても検出されたEVは全てCoxAという従来と同様の結果となった。

平成22年度以降、福井県では手足口病は流行開始基準値(5人/定点)を夏期に大きく超過している。一方で、ヘルパンギーナは平成22年第27週に流行開始基準値(6人/定点)を超過した以外は、平成22年度以降に基準値の超過はみられなかった(図1)。手足口病に比べるとヘルパンギーナの流行は小さかったため、搬入されるヘルパンギーナの検体の量も少なかったと考えられた。

その他のEV関連疾患疑い疾患の患者84名のうち、計

22件のEVが検出され、内訳はCoxA4、CoxB3、Echo6およびライノウイルス(HRV)が各3名、CoxA9およびEV71が各2名、CoxA2、CoxA6、CoxA10、CoxB5、Echo25およびEV68が各1名であった(表2)。病原体が検出された検体は、発病月が7~9月に集中していた(19件:86%)。この時期は、手足口病やヘルパンギーナの流行時期と重なっており、発疹症などの一部の患者については関連性があると考えられた。

EV71は、1990年代後半以降に東アジアで小児の死亡例を含む重症患者が多発し、問題となっている¹⁵⁾。治療薬は無く、国内ではワクチンの開発も遅れている¹⁶⁾ことから、EV71の流行動態の正確な把握は重要である。

そこで、本調査で9名11検体から検出されたEV71について、VP1領域(324bp)の系統樹解析を実施した。系統樹解析には、本調査で検出した福井県内検出株、各検出株をBLAST検索実施時に最も相同性の高かった株、そして清水らの報告による各Subgroupの標準株¹⁷⁾を使用した。解析の結果、平成22年度検出株はSubgroup C、平成24年度および平成25年度検出株はSubgroup Bに分類され、さらに平成24年度検出株と平成25年度検出株では異なるクラスターを形成した(図2)。BLAST検索で最も相同性が高い検出株の検体採取年は、いずれも対応する福井県内検出株の検体採取年と近く、その年に流行していたクラスターに分類されたと考えられた。疾患の違いよりも検出年の違いによる影響が大きい結果となっており、

EV71は、年々変化して流行している可能性が示唆された。今後も、年が変わるごとに変異を繰り返し、流行を拡大させていく恐れがあるため、調査を継続し、実態を把握し続けることが必要と考えられた。

4. まとめ

平成 22～25 年度に福井県内で採取された EV 関連疾患疑い患者 165 名 228 検体について、CODEHOP VP1 RT-seminested PCR 法を用いて、病原体の検索を実施した結果、75 名 94 検体から EV を検出した。

EV 陽性検体における血清型調査の結果、無菌髄膜炎からは Echo (30%) および CoxB (55%) が多く検出され、ヘルパンギーナから検出されたのは全て CoxA であった。手足口病からは CoxA6 (64%) が多く検出され、近年の流行の主流と推定された。

EV71 の系統樹解析の結果、県内で流行する EV71 は年々変異している可能性が示唆された。

謝辞

検体の採取、搬入および疫学等の情報収集を担当された健康福祉センター、医療機関、福井県健康福祉部健康増進課の関係各位に深謝いたします。

参考文献

- 1) ウイルス感染症の検査・診断スタンダード, 羊土社 (2011)
- 2) Picornaviridae.com HP [Enterovirus]
<http://www.picornaviridae.com/enterovirus/enterovirus.htm>
- 3) 国立感染症研究所; 手足口病 2002～2011 年, IASR Vol. 33(3):55-56 (2012)
- 4) Nix WA, et al. Sensitive, Seminested PCR Ampli-

fication of VP1 Sequences for Direct Identification of All Enterovirus Serotypes from Original Clinical Specimens, J Clin Microbiol 44: 2698-2704, (2006)

5) NCBI HP [BLAST]

http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&BLAST_PROGRAMS=megaBlast&PAGE_TYPE=BlastSearch&SHOW_DEFAULTS=on&LINK_LOC=blasthome

6) Tamra K, et al. MEGA5: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Using Maximum Likelihood, Evolutionary Distance, and Maximum Parsimony Methods. Mol. Biol. Evol. 28: 2731-2739 (2011)

7) MEGA HP <http://www.megasoftware.net/>

8) 谷口清州; 感染症の話「無菌性髄膜炎」, IDWR 2003 年第 12 週号

9) 東方美保他; 無菌性髄膜炎患者からの B 群コクサッキーウイルス 5 型分離状況—福井県, IASR Vol.27(10) 271 (2006)

10) 国立感染症研究所; 感染症の話「手足口病」, IDWR 2011 年第 27 週

11) 国立感染症研究所; 手足口病 2002～2011 年, IASR Vol. 33(3) 55-56 (2012)

12) 小林正明他; 2011 年のコクサッキーウイルス A6 型感染による手足口病の臨床的特徴—静岡県, IASR Vol. 32(8) 230-231(2011)

13) 柏井健作他; 手足口病後に脱落した爪からのコクサッキーウイルス A6 型の検出—和歌山県, IASR Vol.32(11) 339-340 (2011)

14) 国立感染症研究所; ヘルパンギーナ 2005 年 7 月現在, IASR Vol. 26(9) 235-236 (2005)

15) 清水博之; 東アジアにおけるエンテロウイルス 71 型感染症の流行, IASR Vol. 30(1) 9-10 (2009)

16) 清水博之; 手足口病 (エンテロウイルス 71) ワクチン開発の現状, IASR Vol. 33(3) 65-66 (2012)

17) 清水博之; 東アジア地域で分離されるエンテロウイルス 71 型の分子疫学, IASR Vol.25(9) 228-229 (2004)



揚水返送循環方式による最終処分場安定化促進基礎技術開発

田中宏和・椿 雅俊*1・磯部友護*2・大石 修*3

Development of Basic System Aiming at Stabilization of Waste Landfill
by Pumping Circulation of Leachate

Hirokazu TANAKA, Masatoshi TSUBAKI*1, Yugo ISOBE*2, Osamu OOISHI*3

1. はじめに

最終処分場は化学的および物理的性質の異なる様々な種類の廃棄物を不均一に埋立するため、全体を一樣に安定化させることは難しい。また保有水水位が高い埋立地の滞水部分では、塩類洗い出しが遅れるだけでなく、酸素供給もされにくいため有機物分解も遅延する懸念がある。そのため、埋立地全体の早期安定化を図るためには安定化遅延部を把握した上で、その部分の安定化を促進させることが重要であると考えられる。

埋立地内部の状況把握については物理探査を用いた研究が進んでいるが、併せて局所的な安定化促進技術の開発が必要である¹⁻⁹⁾。既存の安定化促進技術としてはガス抜き管を活用した循環式準好気埋立システムが知られているが、保有水水位が高い処分場での採用は難しい¹⁰⁻¹³⁾。そこで筆者らは、揚水した浸出水を埋立地に返送循環する方法に着目し、小規模実験システムを構築して連続運転試験を行ったので、その結果を報告する。

2. 試験方法

連続運転試験は福井県内の管理型処分場（深さ 6m）で実施した。システムは揚水部、導水管、給水部に大別され、2012年12月14日に運転開始し、2013年5月13日まで運転を継続した。

2.1 揚水部

揚水部の構造を図1に示す。塩分や硫化水素ガスによる腐食や浮遊物質による閉塞が懸念されたため、本実験では揚水方法にエアリフト方式を採用した。

揚水井は最下部 1m のみをストレーナー構造とした深さ 4m の観測井を利用した。揚水管は塩化ビニル製水道管（VP25）を用いて地表から 1.55m まで立ち上げて容積約 20L のタンクに接続し、最下部から 0.5m の位置に送気管を設置した。

タンク上部は大気開放してエアリフトに用いた空気が排出される構造とし、タンクの浸出水出口高さは地表から 1.1m とした。タンクと導水管の間に導水量計測用の超音波流量計を設置した。

エアリフトポンプの送気には最高圧力 0.3MPa、送気量 20L/min（0.2MPa 時）のダイヤフラム式コンプレッサー

を使用し、電力源は公称最大出力 114W の多結晶太陽電池モジュール 2 枚と 12V38Ah の高サイクル密閉型バッテリー 2 台、正弦波インバータを使って電源装置を自作し、バッテリー電圧についても連続計測した。なお、送気はタイマーを用いて 7 時から 18 時までの間欠運転（10min/h）とした。

揚水井には投げ込み式の水位計と電気伝導率計を設置して揚水井内部の浸出水情報を収集した。

2.2 導水管

導水管には塩化ビニル製水道管（VP25）を敷設した。

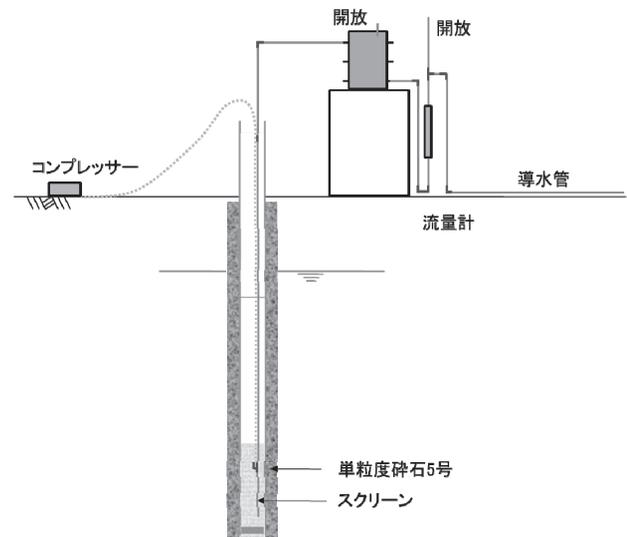


図1 揚水部概略図

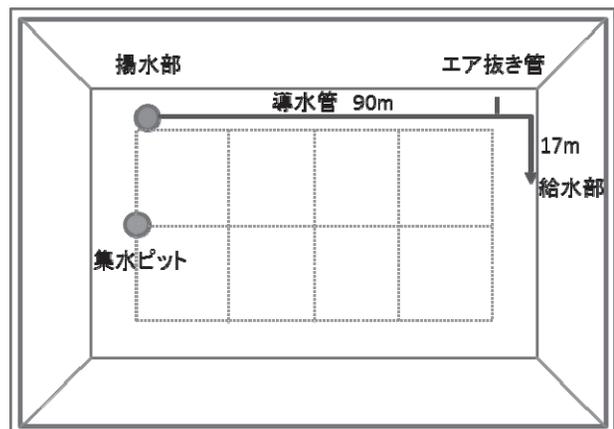


図2 導水平面図

*1 東急建設株式会社

*2 埼玉県環境科学国際センター

*3 千葉県環境研究センター

平面図を図2に示す。導水長は約107mで、揚水部から82m付近にエア抜き管を設置した。ウェストン公式で流速を6L/minと仮定すれば、350m以上の導水が可能な設計である¹⁴⁾。

2.3 給水部

給水部は最終覆土の直径0.1m深さ0.5mの孔に地表から0.2mの深さまで導水管を差し込み、その周りに砕石を詰めた構造とした。埋立地の最終覆土は砂質土で、2009年に計測した覆土厚は0.75m、透水係数は $1.11E-02\text{cm/s}$ であった。給水部周辺に水たまりができることは無く、浸出水は常に最終覆土中に浸透していた。

3. 結果および考察

3.1 循環水量

2013年3月4日から5月13日までの積算導水量を図3に示した。この間の積算総流量は 61.811m^3 であり、日間平均で約880L、揚水1回あたりの平均導水量は約88Lであった。なお、3月4日以前については流量計のデータが一部欠損しているが、1月8日から27日までの日間平均は245Lであり、上述した値に比べて少なく、日照不足によるバッテリー電圧低下により送気ポンプが作動しなかったことが一要因と考えられた。

次に3月9日、4月8日、5月8日の正午前後における揚水をそれぞれRun1、Run2、Run3とし、それぞれの導水流速を図4に示した。Run1とRun3の挙動は似ているが、Run2はそれらに比べて流速が著しく遅く、導水時間が長いことが分かる。

Run2と同様な挙動は連続運転試験中に度々発生していたが、しばらくするとRun1とRun3の挙動に戻っていたため給水部の閉塞が原因とは考えにくく、バッテリー電圧も13V以上であったことから送気ポンプの作動不良も考えられない。これらのことから、Run2は導水管内に気泡が入ることで抵抗となり、流量が少なくなるためタンク貯留水が全て流れ落ちるまで時間を要する状態となるが、揚水が繰り返されて気泡がエア抜き管や給水部まで押し出されて排出されるとRun1とRun3の挙動に回復するメカニズムが推察された。なお、流量計はタンク出口に設置していることから、Run2の場合でも揚水量は変わらず、タンク上部から溢れていたと考えられ、実際の揚水量は計測した導水量よりも多かったと考えられる。

3.2 揚水井の水位と電気伝導率

揚水井の水位を図5に、浸出水の電気伝導率(EC)を図6に示した。揚水設備を設営した2012年12月14日後で水位とECの挙動が大きく異なることが分かる。

水位については揚水開始後に断続的な変動がみられ、その変動幅に着目すると運転開始直後は0.6m程度であるのに対し、5月には0.2m程度までに縮小した。

ECについても運転前は約 $300\mu\text{S/cm}$ で一定であったが、揚水開始後から大きく変動し、高いときは $900\mu\text{S/cm}$ 以上に達した(図6)。なお、ECの変動は運転前よりも高値側で濃度変動しており、朝の揚水前が最も低く、揚水により著しく上昇し、揚水終了後の夜間は次第に低下する傾向がみられた(図7)。また、水位が低いとECが高くなる傾向も確認された(図8)。

この挙動のメカニズムとしては次のとおり考えた。井戸

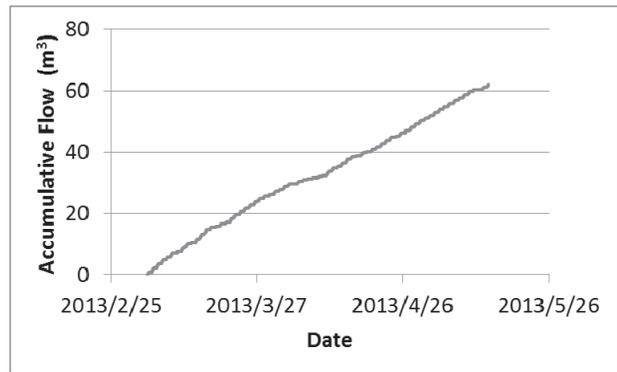


図3 積算導水量

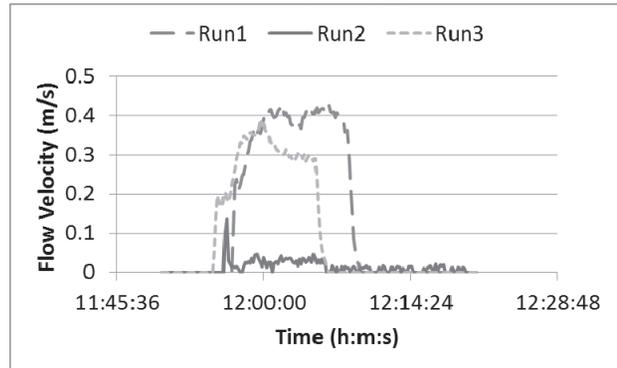


図4 導水流速

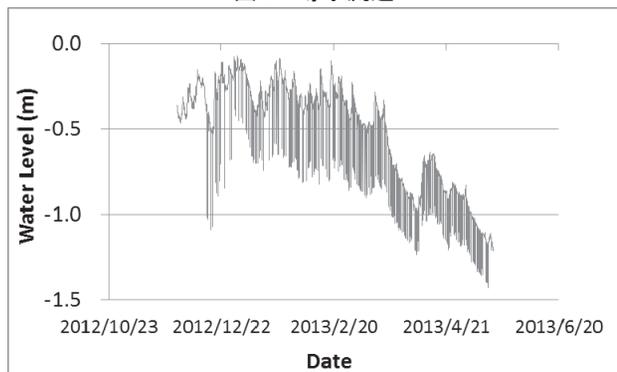


図5 揚水井水位

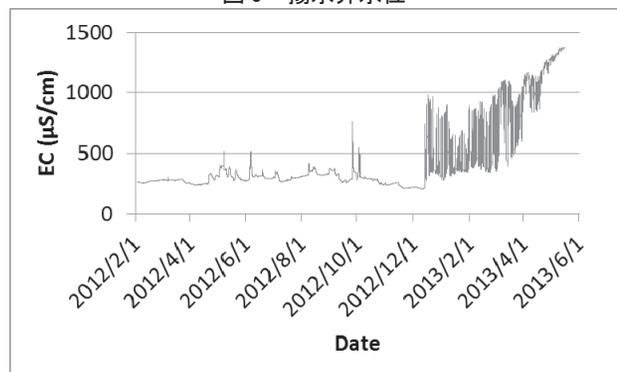


図6 浸出水の電気伝導率

のストレーナーが深部にあるため、揚水運転が繰り返される昼間は深層部の高EC水が集水される。その結果、井戸周辺の保有水水位が低下する水位勾配が生じ、夜間は主に浅層部の低EC水が井戸周辺に集まり、井戸周りの砕石部を通じて井戸内の水と混合してECが低下する。

しかし、図6では月日の経過とともにECの変動幅は縮

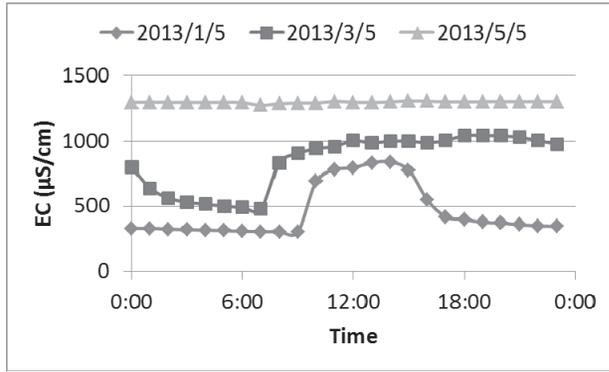


図7 電気伝導率の時間変動

小しなから上昇し、5月には1,300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ に達した。これは、春になり降水量が減少したため浅層部に補給される浸透水量が減ることで、夜間の希釈効果が弱まり、高ECの保有水のみが集まりやすくなったためと考えた。従って、降水が少なく浸透水量が少ない時期に、揚水による保有水を移動させる効果が大きくなると考えられた。

3.3 塩類洗い出し効果

揚水部と給水部の比抵抗探査結果をそれぞれ図9と図10に示す。図9では比較のため、本実験を開始していない前年度の結果も併せて示した。

図9では揚水部周辺の下層で明らかな比抵抗値の上昇がみられた。また図10でも、給水部下層の比抵抗は周辺よりも高い部分が見られ、これらの結果は揚水と給水により、塩類洗い出しが進行したことを表していると考えられる。ただし、比抵抗値が上昇した部分の深さや広がりは一様ではなく、水が移動しやすい部分から塩類洗い出しが進行し、比抵抗値に偏りが生じたことが推察される。このことから埋立地内部の不均一性がうかがえる。

次に、電磁探査による給水部周辺の電気伝導率(EC)結果を図11に示す。図の右側に遮水シート法面部の影響と考えられる低EC部が帯状にみられ、給水部左側のECは周囲に比べて若干低くみえるが、明確な差は確認できなかった。

浸出水は透水性が高い砂質の最終覆土内を拡散して浸透したと考えられ、給水部周辺は雑草の繁茂が著しかった。

4. まとめ

太陽光エネルギーとエアリフトポンプを用いた小規模実験システムで、断続的に揚水した浸出水を100m以上導水することに成功した。また、揚水は井戸周辺の保有水を移動させて塩類洗い出しを促進させる効果があるが、その効果は浸透水量の影響を受けることが示唆された。さらに、比抵抗探査から揚水部と給水部周辺下層の塩類洗い出しが確認されたが、一様ではなく偏りがみられた。

本実験により揚水返送循環方式は局所的な安定化促進手法として一定の効果が確認された。この方式による安定化促進技術は、保有水水位が高い海面埋立処分場への応用が期待できると考えている。

謝辞

本研究は、特別電源所在県科学技術振興事業「安定化の促進と安全な跡地利用のための最終処分場の分析評価と

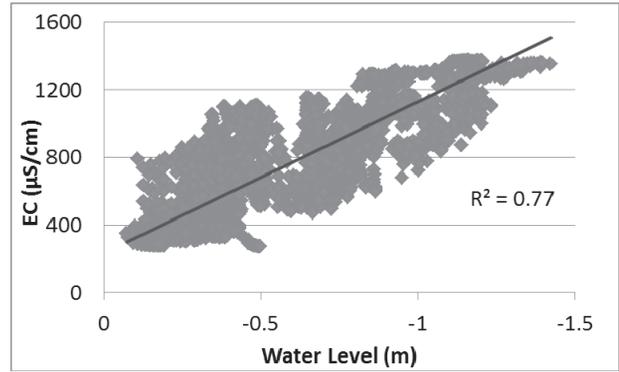


図8 揚水井水位と電気伝導率の関係

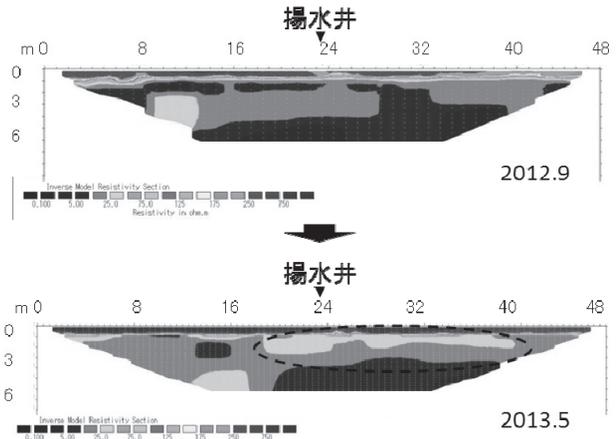


図9 揚水部の比抵抗断面図

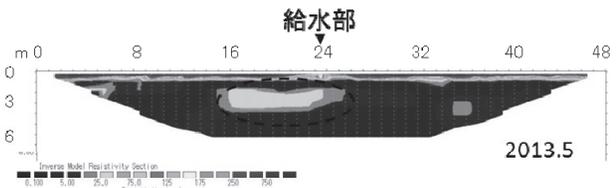


図10 給水部の比抵抗断面図

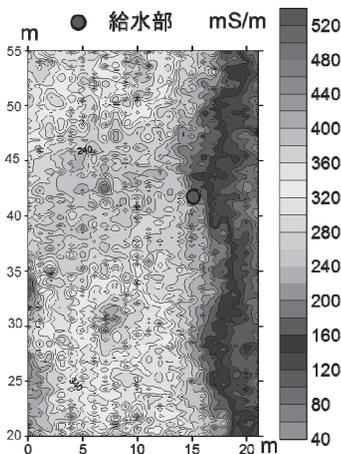


図11 電気伝導率平面分布

技術開発」の一環として実施した。御指導いただいた国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター廃棄物適正処理処分研究室の山田正人室長、遠藤和人主任研究員、石垣智基主任研究員、早稲田大学理工学術院の香村一夫教授、そして、調査に御協力いただきました関係者の方々に深謝いたします。

参考文献

- 1) 遠藤和人他：時系列比抵抗探査による最終処分場の内水探査,第15回廃棄物学会研究発表会,1255-1257(2004)
- 2) Kamura Kazuo et al. : Effectiveness of resistivity monitoring for interpreting temporal changes in landfill properties, *Journal of material cycles and waste management*,7(2), 66-70(2005)
- 3) 栗原正憲他：電気、電磁探査による最終処分場モニタリングの有効性検討,第19回廃棄物学会研究発表会講演論文集,753-755(2008)
- 4) 福井博他：電気探査技術の活用による廃棄物最終処分場の安定化判定に関する研究,神奈川県環境科学センター業務報告 2010年版,77-82(2010)
- 5) 桜間俊典他：電気探査を利用した廃棄物埋立層内メタル濃集ゾーンの把握,第22回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 471-472 (2011)
- 6) 若林恭子他：比抵抗法・強制分極法を用いた廃棄物埋立層内の性状解明,物理探査学会学術講演会講演論文集=Proceeding of the SEGJ Conference 126,225-228(2012)
- 7) 桜間俊典他：電気探査IP法を用いた廃棄物埋立層内メタル濃集ゾーンの把握,第23回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集,497-498(2012)
- 8) 小山研也他：埋立廃棄物の比抵抗・充電率および金属含有量に関する基礎的検討”,第24回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 505-506(2013)
- 9) 若林恭子他：都市鉱山としての最終処分場評価(2),第35回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集 206-208(2014)
- 10) 花嶋正孝：21世紀に求められる最終処分場の全体像(特集 最終処分場技術の最前線-安全,共生,循環がキーワード),資源環境対策,36(14),1222-1225(2000)
- 11) 元村隆一,準好気性埋立の現状と今後の展望(特集/循環型社会における最終処分場の方向),都市清掃,58(268),544-550(2005)
- 12) 松藤敏彦：欧米における埋立地安定化促進戦略と日本の埋立技術(特集 これからの最終処分場-現状・最新動向から跡地利用まで),月刊廃棄物,32(11),17-21(2006)
- 13) 『環境ビジネス』：入門廃棄物道場 vol.6 進化する管理型最終処分場「準好気性埋立て構造」,77,86-92(2008)
- 14) 水理計算の岸知識・17章管との摩擦によって失われる力 : < <http://suidobox.net/suiribasic17.html> > 2014.06.16 閲覧



ヨシを用いた吸着材の開発に向けた基礎的研究 (第2報)

井藤 有美・岡 恭子

Research on the Adsorbent made of Reeds (2)

Yumi ITO, Kyoko OKA

1. はじめに

久々子湖、水月湖、菅湖、三方湖および日向湖からなる三方五湖は、2005年にラムサール条約に登録された湖沼であり、福井県が誇る貴重な観光資源の一つである。しかし三方湖では富栄養化などによる環境基準超過が続いているため、水質を改善し、景観を保持することが求められている。

湖沼の水質浄化技術は種々あり、本県では水生植物を植栽した浮き礁の設置や植生護岸の整備などに取り組んでいる²⁻⁶⁾。水生植物の一種のヨシは、富栄養化の原因物質である水中の窒素やりんを吸収して成長するため、成長したヨシを刈り取って系外除去することで、効率的な水質浄化効果が期待できる。

しかし、刈り取り後のヨシについては、一部は梅畑の肥料として利用されているが、他の有効利用はなされておらず、ヨシの有効利用法の開発が求められている⁷⁾。

そこで本研究では、ヨシの刈り取りを促進して水質浄化へとつなげるため、刈り取り後のヨシについて有害物質の吸着材としての活用可能性を探ることとした。

2. 方法

2.1 吸着材の調製

2.1.1 裁断・粉碎処理

刈り取り後、全体が黄色になるまで十分に自然乾燥させたヨシを、約5cmの短冊状に切断、または市販の家庭用ミルで粉碎した。

2.1.2 洗浄処理

表1に示した4種類の洗浄液を用いて、切断または粉碎したヨシを次の方法で洗浄した。50mL遠沈管にヨシ1~2gと各洗浄液25~40mLを入れ、フタをして1分間振とう後、一晚静置した。次に2,500rpmで5分間遠心分離し、上澄水を捨て、超純水を加えて振とう後、再度遠心分離して上澄水を捨てた。アルカリ洗浄と酸洗浄については、上澄水のpHが中性になるまでこの操作を繰り返した。その後105℃で乾燥させたものを、短冊状または粉末状のヨシ吸着材とした。

2.2 吸着能評価

2.2.1 吸着対象物質

表1 洗浄方法

洗浄方法	洗浄液
アルカリ洗浄	1N 水酸化ナトリウム
酸洗浄	1.2N 塩酸
超純水洗浄	超純水
水道水洗浄	水道水

重金属類の吸着特性を評価するため、ICP-MS用混合標準試薬GW-1とGW-2(ジールサイエンス社製)を混合、希釈したものを吸着用試験水として用いた。その組成および希釈後の濃度を表2に示す。

試験水中に含まれる元素のうち、環境基準が定められているヒ素(As)、カドミウム(Cd)、鉛(Pb)、セレン(Se)および要監視項目のアンチモン(Sb)について吸着能を評価した。

2.2.2 吸着性試験

前報の吸着性試験方法を次のようにスケールアップした⁸⁻¹⁰⁾。調製したヨシ吸着材0.24g、0.48g、0.96gを秤量分取し、500mLのポリ瓶に分取したヨシ吸着材と吸着用試験水480mLを入れ、室温でスターラーを使用して攪拌した。0、10、20、40、60、120、240分後と24時間後にシリンジで吸着用溶液を10mL採取し、0.45μmメンブレンフィルターでろ過した。その後、ろ液に硝酸を加え、ICP-MS(ELAN DRC-e:Perkin Elmer社製)を用いて各含有元素濃度を分析した。図1に試験の概略図を示す。

なお、洗浄処理の効果評価と吸着性試験の操作ブランクとして、未処理のヨシを用いた系とヨシを入れない系についても、それぞれ同様に試験を行った。

表2 吸着用試験水組成

含有元素	濃度 (mg/L)
アルミニウム	0.5
バナジウム	0.25
ヒ素、ベリリウム、クロム、コバルト、銅、鉄、マンガン、ニッケル、鉛、アンチモン、タリウム、亜鉛	0.1
銀	0.05
カドミウム、セレン	0.025
水銀	0.005

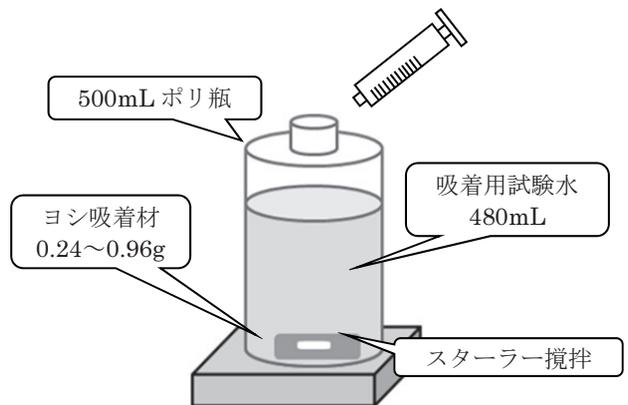
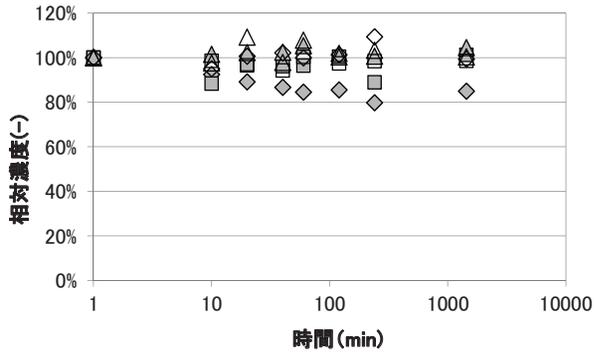
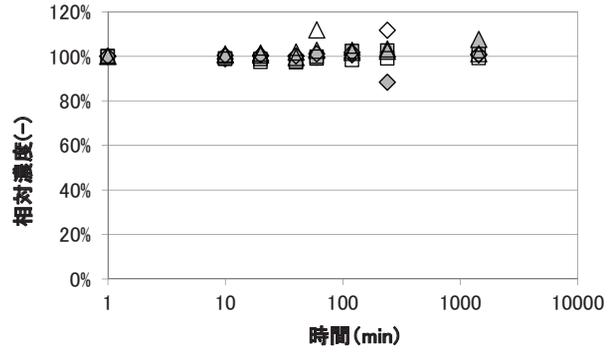


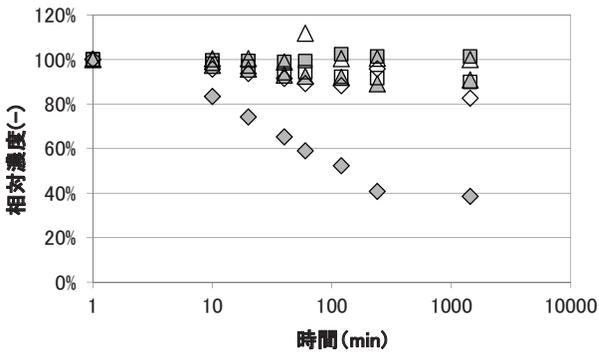
図1 吸着性試験



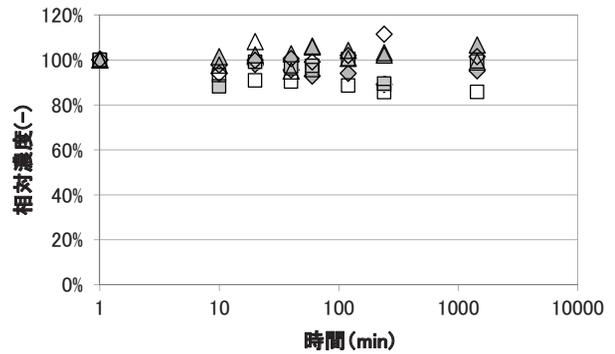
◇NaOH □HCl △超純水 ◇水道水 □未処理 △操作BL
図 2 As の濃度変化 (洗浄方法別)



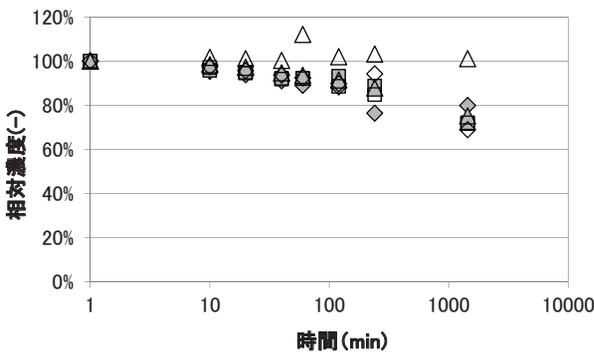
◇NaOH □HCl △超純水 ◇水道水 □未処理 △操作BL
図 3 Cd の濃度変化 (洗浄方法別)



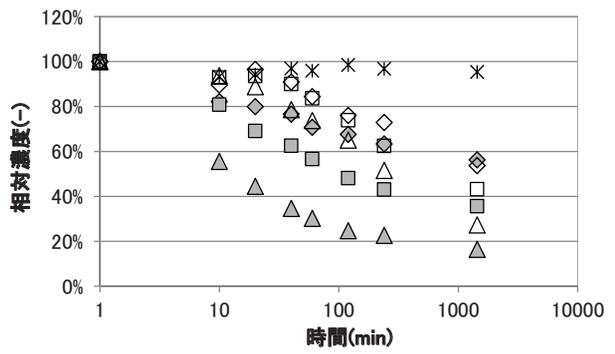
◇NaOH □HCl △超純水 ◇水道水 □未処理 △操作BL
図 4 Pb の濃度変化 (洗浄方法別)



◇NaOH □HCl △超純水 ◇水道水 □未処理 △操作BL
図 5 Se の濃度変化 (洗浄方法別)



◇NaOH □HCl △超純水 ◇水道水 □未処理 △操作BL
図 6 Sb の濃度変化 (洗浄方法別)



◇粉末0.24g □粉末0.48g △粉末0.96g ◇短冊0.24g
 □短冊0.48g △短冊0.96g *操作BL
図 7 Pb の濃度変化 (添加量・形状別)

3. 結果および考察

3. 1 洗浄方法による吸着能評価

粉末状のヨシ吸着材 0.48g を用いた吸着性試験について、各含有元素の濃度変化を図 2~6 に示す。なお、縦軸は攪拌前の濃度に対する相対濃度を百分率で示し、横軸は時間経過を対数目盛りで示しているため、攪拌前 (0 分) は便宜上 1 分後にプロットした。

前報の結果と同様、As、Cd および Se については、いずれの洗浄方法でもほとんど濃度は変化しなかった。

図 4 の Pb については、アルカリ洗浄した場合に時間経過とともに濃度が低下し、24 時間後には初濃度の 4 割程度となり、前報と同様な傾向を示した。未処理の場合や操作ブランクではほとんど濃度が変化していないことから、アルカリ洗浄によってヨシに吸着しやすくなったと考えられた。

図 6 の Sb については、前報では操作ブランクを含む全ての系で濃度低下がみられたが、本報では操作ブランクを除く 5 つの系において時間経過とともに濃度が低下した。これより、濃度低下の挙動がポリ瓶等への吸着によるもの

ではなく、ヨシへの吸着に起因することが確認された。

なお、表2に示した他の含有元素についても分析を行ったが、洗浄方法に関係なく、濃度変化はほとんどみられなかった。

中野らは、アルカリ処理により有効表面積が増加することと、吸着材表面のカルボキシル基がカルボン酸塩等のイオン交換しやすい形態に置換されることにより、重金属イオンとのイオン交換能が増加するメカニズムを提唱している¹¹⁾。本研究でもPbについての吸着能向上はこのメカニズムと矛盾しない。しかし、それを裏付けるためのゼータ電位測定や赤外吸収スペクトル分析は本研究では実施していない。

さらに、中野らの報告ではPb以外にCd、銅(Cu)、ニッケル(Ni)、亜鉛(Zn)についても吸着能を有したとしている。しかし、本研究では上述したとおりCd、Cu、NiおよびZnの濃度低下がみられなかったため、図4でのPb吸着は上述したメカニズムとは異なる可能性が考えられた。ただし、そのメカニズム解明には至らなかった。

Sbに関しては、超純水洗浄や未処理のヨシでも同等の濃度低下挙動がみられていることから、主にSbの特性によるものと考えられた。つまり、イオン交換よりも物理的な吸着が示唆されたが、これについても詳細なメカニズムの解明には至らなかった。

3.2 添加量および形状による吸着能評価

Pbの濃度低下が顕著であった、アルカリ洗浄したヨシ吸着材を用いた場合に絞って、添加量および形状による吸着能評価を行った。

Pbの濃度変化を図7に示す。なお、縦軸および横軸の設定については図2~6と同様である。

短冊状、粉末状のどちらにおいても、添加量が増加するほど大きく濃度低下した。特に、粉末状のヨシ吸着材0.96gを用いた場合の濃度低下が最大で、24時間後に初濃度の2割以下となり、吸着材増加による吸着量増加が確認できた。

形状で比較すると、吸着時間が短い間は短冊状よりも粉末状の方がよりPb吸着能に優れていた。しかし、24時間後では明確な差異がみられない程度に近値を示した。

これらの挙動は、短冊状に比べて粉末状のヨシは試験水に接触する表面積が大きいいため吸着が速やかに進行する。一方、短冊状でアルカリ洗浄を行ったヨシ吸着材は、試験初期は有効表面積が小さいため、粉末状に比べて吸着能は低いものの、長時間の攪拌により短冊が脆くなり細分化されて表面積が次第に増加する。その結果、時間経過とともに吸着能が向上し、24時間後には粉末状吸着材の試験結果と同等程度の吸着量を有するに至ったと考えられた。

中野らの報告においても、粉末粒径は微細粉末にする必要は無く、1mm以下であれば十分な吸着能を有すると報告されている¹¹⁾。

4. まとめ

刈り取り後のヨシについて、有害物質の吸着材としての活用可能性を検討した。

アルカリ(NaOH)、酸(HCl)、超純水、水道水の4種類の洗浄液で調製したヨシ吸着材に重金属類を吸着させたところ、アルカリ洗浄した場合に高いPb吸着能が得られた。しかし、選択的にPbのみの吸着能が向上しており、そのメカニズムの解明には至らなかった。

また、Sbの吸着能については、Sbの特性に起因する物理的な吸着が疑われた。ただし、これについても詳細なメカニズムは解明できなかった。

さらに、吸着材形状の比較評価では、短冊状に比べて粉末状の吸着材のPb吸着能が高く、速やかに吸着が進行した。しかしながら、24時間経過後では短冊状も粉末状と同等の吸着能を示した。これは単に形状による有効表面積の差に起因し、長時間の吸着試験では脆い短冊状の吸着材が細分化したことで有効表面積が増加した影響が現れたものと考えられた。

参考文献

- 1) 平成25年度版環境白書(福井県)
- 2) 国土交通省,湖沼における水理・水質管理の技術,第5章 湖沼水質の保全・改善対策
- 3) 長谷光展他:三方湖の水質浄化と農業,北陸作物学会報,33,143-145(1998)
- 4) 久保 光他:三方湖における湖沼沿岸帯復元の取り組み,福井県雪対策・建設技術研究所年報地域技術,20,76-81(2007)
- 5) 久保 光他:三方湖における湖沼沿岸帯復元の取り組み(その2),福井県雪対策・建設技術研究所年報地域技術,21,120-127(2008)
- 6) 久保 光他:三方湖における湖沼沿岸帯復元の取り組み(その3),福井県雪対策・建設技術研究所年報地域技術,22,99-107(2009)
- 7) ハスプロジェクト推進協議会:三方五湖・湖(ウミ)と里(サト)のネットワーク再生ビジョン(2005)
- 8) 岡 恭子:ヨシを用いた吸着材の開発に向けた基礎的研究,福井県衛生環境研究センター年報,11,68-70(2013)
- 9) 海老江邦雄他:活性炭によるフミン質及び微量有害有機成分の吸着特性,水道協会雑誌,64,38-48(1995)
- 10) 石田浩介他:活性炭によるクロム(VI)の吸着と溶離,分析化学,53,1061-1065(2004)
- 11) 中野和典他:ヨシを原料とした吸着材の重金属除去性能とそのメカニズム,用水と廃水,51,7,581-588(2009)

再生可能エネルギーの利用可能量に関する研究（第2報） — 賦存量および利用可能量の算出結果 —

吉川昌範・三木 崇

Study on Available Quantity of the Renewable Energy (2)
— Calculation Result of Quantity of Existence and the Available Quantity —

Masanori YOSHIKAWA, Takashi MIKI

1. はじめに

2011年3月の福島第一原子力発電所の事故以来、二酸化炭素（CO₂）排出量の少ない再生可能エネルギーの利用促進が、エネルギー政策や地球温暖化対策の推進にとって一層重要となっている。

当センターでは、福井県における再生可能エネルギーの導入実態や導入に当たっての課題等を把握するとともに、その賦存量や利用可能量に関する研究を平成24年度から開始した。

前報¹⁾では、事業所における再生可能エネルギーの導入実態や導入に当たっての課題等を把握するために実施した事業所アンケート調査の結果について報告した。

本報では、本県において今後の利用が期待できる再生可能エネルギーを探ることを目的に、県内における再生可能エネルギーの賦存量および設定した条件における利用可能量を算出したので、その結果について報告する。

2. 方法

2.1 賦存量の算出方法

賦存量とは、利用に当たっての制約を考慮しない理論的に算出する潜在的なエネルギー量（資源量）である。

今回の算出に当たっては、(財)新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の新エネルギーガイドブックや自治体が策定している新エネルギービジョン等^{2~8)}で用いている算出方法を参考とした。また、算出に用いる基礎データについては、最新の統計データや行政機関等から入手した資料等の値を用いた。

なお、対象としたエネルギーは以下のとおりである。

- ・ 太陽エネルギー
- ・ 風力エネルギー（陸上）
- ・ 木質系バイオマス（林地残材、廃材）
- ・ 農業系バイオマス（稲わら、もみ殻）
- ・ 畜産系バイオマス（牛・豚・鶏の糞尿）
- ・ し尿処理汚泥
- ・ 下水処理汚泥
- ・ 雪氷熱エネルギー
- ・ 波力エネルギー

エネルギー毎の具体的な算出方法等を表1に示す。

なお、太陽エネルギーの算出に用いる年間最適傾斜角日射量は、県内で観測している9地点の1981～2009年の平均値を、面積は森林・道路・水面・河川・水路を除いた面積（2009年10月現在）とした。

また、風力エネルギー（陸上）の算出の条件とする年平均

均風速については、風力発電の事業化には年平均風速5～6m/s以上（地上高30m）が望ましいとの報告³⁾があることから5.5m/s以上とした。NEDO局所風況マップデータから試算した風速5.5m/s以上の面積は、県土面積の3割に相当する約1,240km²であり、その風況マップは図1のとおりである。

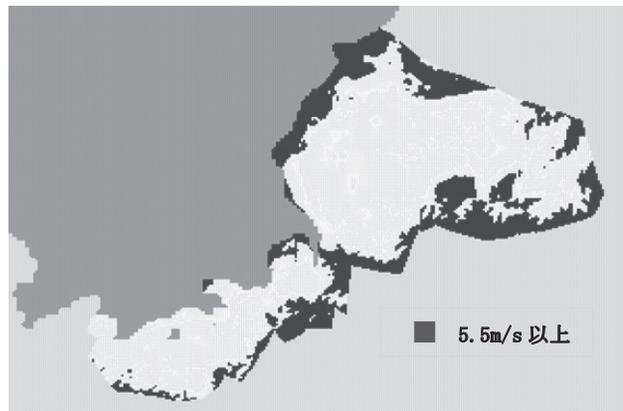


図1 年平均風速5.5m/s以上の風況マップ図

木質系バイオマスの賦存量については、「福井県木質バイオマス利用実態調査業務報告書」⁹⁾で試算している森林資源の賦存量（重量換算）を熱量換算して求めた。

雪氷熱エネルギーの算出に用いる雪量については、道路、商工業用地および宅地に降る雪を対象とし、降雪深（2005～2009年の5か年平均）に各対象面積を乗じて算出した。

2.2 利用可能量の算出方法

利用可能量の算出対象は、賦存量を算出したエネルギーのうち、以下の理由から、農業系バイオマス、畜産系バイオマス、し尿処理汚泥および下水処理汚泥を除いたエネルギーとした。

- ・ 農業系バイオマスの稲わらは農地へのすき込みや飼料として、もみ殻は堆肥や畜舎敷料としてほぼ全量が既に利用されている。
- ・ 畜産系バイオマスについては、家畜糞尿のほぼ全量が堆肥として既に利用されている。
- ・ し尿処理汚泥および下水処理汚泥については賦存量も少なく、下水処理汚泥（消化ガス）の約5割が消化タンク加温用ボイラーの燃料として既に利用されている。

各エネルギーの利用可能量については、県内の利用実態や他県での導入事例等も参考に、利用が期待できる条件を設定し、各条件における期待量として算出した。

表1 賦存量の算出方法

算出方法	出典
<p>【太陽エネルギー】</p> <p>賦存量(TJ/年)=年間最適傾斜角日射量^{*1}×面積^{*2}×365日× 熱量換算係数^{*3}×10⁻⁶</p> <p>*1: 3.48kWh/m²・日 *2: 783.7×10⁶ m² *3: 3.6MJ/kWh</p>	<p>*1: NEDO 日射量データベース *2: 土地利用現況把握調査(県土木管理課) *3: エネルギー源別標準発熱量(経済産業省)</p>
<p>【風力エネルギー】</p> <p>賦存量(MWh/年)=年平均風速 5.5m/s 以上(地上高 30m)の 風況面積^{*1}×設置容量^{*2}×8,760h×設備利 用率^{*3}×10⁻⁶</p> <p>*1: 1,273km² *2: 10MW/km² *3: 0.204</p>	<p>*1: NEDO 局所風況マップ(H18年度版) *2: 自然エネルギー白書(風力編) *3: 新エネルギーガイドブック</p>
<p>【木質系バイオマス】</p> <p>賦存量(TJ/年)=(林地残材賦存量^{*1}+廃材賦存量^{*2})×発熱量^{*3}</p> <p>*1: 75,932t-dw/年 *2: 70,481t-dw/年 *3: 0.0168TJ/t</p>	<p>*1,2: 福井県木質バイオマス利用実態調査 業務報告書 *3: 地域新エネルギー・省エネルギー策定 ガイドブック</p>
<p>【農業系バイオマス】</p> <p>賦存量(TJ/年)=水稻収穫量^{*1}×発生源単位^{*2}×湿重量換算× 発熱量^{*3}</p> <p>*1: 138,8000t *2: 稲わら 1.13t/米 t もみ殻 0.23t/米 t *3: 0.0114TJ/t</p>	<p>*1: 農林業センサス *2: 新エネルギー等導入促進基礎調査 *3: 日本エネルギー学会</p>
<p>【畜産系バイオマス】</p> <p>賦存量(TJ/年)=家畜頭数^{*1}×糞尿発生源単位^{*2}×ガス発生係 数^{*3}×メタン含有率^{*4}×メタン発熱量^{*5}×365日</p> <p>*1: 乳用牛 1,236頭 肉用牛 3,417頭 豚 4,989頭 鶏 788,731頭 *2: 乳用牛 45kg/頭・日 肉用牛 20kg/頭・日 豚 6kg/頭・日 鶏 0.14kg/頭・日 *3: 乳用牛 0.025m³/kg 肉用牛 0.030m³/kg 豚 0.050m³/kg 鶏 0.050m³/kg *4: 0.6 *5: 37.2×10⁻⁶TJ/m³</p>	<p>*1: 福井県統計年鑑 *2~5: 新エネルギーガイドブック</p>
<p>【し尿処理汚泥】</p> <p>賦存量(TJ/年)=し尿処理施設汚泥量^{*1}×バイオガス発生源 単位^{*2}×メタン含有率^{*3}×メタン発熱量^{*4}</p> <p>*1: 65,950kl *2: 8 m³/kl *3: 0.5 *4: 37.18×10⁻³ TJ/m³</p>	<p>*1: 平成22年度一般廃棄物処理実態調査 (環境省) *2~4: 新エネルギー等導入促進基礎調査</p>
<p>【下水処理汚泥】</p> <p>賦存量(TJ/年)=消化ガス発生量^{*1}×消化ガス発熱量^{*2}</p> <p>*1: 3,942,276 m³ *2: 25.12×10⁻⁶ TJ/m³</p>	<p>*1: 平成22年度下水道統計 *2: 新エネルギー等導入促進基礎調査(H12)</p>
<p>【雪氷熱エネルギー】</p> <p>賦存量(TJ/年)=雪量^{*1}×雪比重^{*2}×(雪比熱^{*3}× 雪温^{*4} + 融解水比熱^{*5}×放流水温^{*6}+氷融解潜熱^{*7})×10⁻⁶</p> <p>*1: 505,396,810m³ *2: 0.1 t/m³ *3: 2.093MJ/t・°C *4: -1 °C *5: 4.186 MJ/t・°C *6: 5°C *7: 335 MJ/t</p>	<p>*1: 土地利用現況把握調査(H21)、道路雪 対策基本計画(H22)より推計 *2~7: 新エネルギーガイドブック</p>
<p>【波力エネルギー】</p> <p>賦存量(MWh/年)=波力エネルギー^{*1}×海岸線長^{*2}×8,760h</p> <p>*1: 9.6 MW/km *2: 150km</p>	<p>*1: 日本周辺における波パワーの特性と波 力発電(港湾技術研究所) *2: 地図からの概算</p>

表2 利用可能量の算出方法

算出方法	出典
<p>【条件1】 (太陽光発電) 利用可能量(kWh/年)=設置容量×1kW 当たり年間発電量*1 *1: 903kWh</p> <p>(太陽熱) 利用可能量(MJ/年)=太陽熱温水器(集熱面積 3m²)の年間有効集熱量*2×設置件数 *2: 6,530MJ</p>	<p>*1: NEF資料、資源エネルギー庁データ *2: ソーラーシステム振興協会調べ</p>
<p>【風力エネルギー】 利用可能量(MWh/年)=発電所規模容量×設置基数×8,760h×設備利用率* * : 0.204</p>	<p>*: 新エネルギーガイドブック 2008</p>
<p>【木質系バイオマスエネルギー】 利用可能量(TJ/年)=(林地残材利用可能量*1+廃材利用可能量*2)×発熱量*3 *1: 6,230t-dw/年 *2: 7,155t-dw/年 *3: 0.0168TJ/t</p>	<p>*1,2: 福井県木質バイオマス利用実態調査業務報告書 *3: 地域新エネルギー・省エネルギー策定ガイドブック</p>
<p>【雪氷熱エネルギー】 利用可能量(TJ/年)=雪量×(雪比熱*1× 雪温 *2+融解水比熱*3×放流水温*4+氷融解潜熱*5×10⁻⁶) *1: 2.093 MJ/t・°C *2: -1 °C *3: 4.186 MJ/t・°C *4: 5°C *5: 335 MJ/t</p>	<p>*1~5: 新エネルギーガイドブック</p>
<p>【波力エネルギー】 利用可能量(MWh/年)=波力エネルギー*1×海岸保全区域延長*2×設置可能割合*3×8,760h×変換効率*4 *1: 9.6 MW/km *2: 137km *3: 0.03 *4: 0.36</p>	<p>*1: 日本周辺における波パワーの特性と波力発電(港湾技術研究所) *2: 県土木部資料 *3,4: 環境省「海洋エネルギー導入見込量について」</p>

なお、太陽エネルギーについては、太陽光発電と太陽熱利用に分けて算出した。

算出方法については、賦存量と同様に、新エネルギーガイドブックや自治体が策定している新エネルギービジョン等の算出方法を参考とした。また、算出に用いる基礎データについては、最新の統計データや行政機関等から入手した資料等の値を用いた。表2に具体的な算出方法を示す。

2.3 算出結果の換算

熱量や電力量として算出した賦存量および利用可能量については、表3の換算係数を用いて、電力熱量、原油量、世帯数、CO₂量に換算した。なお、電力量として算出したエネルギー(風力、波力)のCO₂量への換算は、北陸電力(株)、関西電力(株)の単位電力当たりのCO₂排出量から試算した値を用いた。

表3 換算係数

項目	換算係数	出典等
電力熱量換算	0.00963 TJ/MWh	エネルギー源別標準発熱量(経済産業省)
原油換算	0.0382 TJ/kl	エネルギー源別標準発熱量(経済産業省)
世帯換算	7.1 MWh/世帯	資源エネルギー庁試算の全国平均電気使用量および事業便覧(2009年度)の電灯使用量から福井県の世帯当たりの電気使用量を試算
CO ₂ 換算	2.62 tCO ₂ /kl *1 0.47 tCO ₂ /MWh*2	*1: 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル *2: 北陸電力(株)および関西電力(株)の2009~2011年の1kWhあたりの平均CO ₂ 排出量から試算

3. 結果および考察

3.1 賦存量の算出結果

各エネルギーの賦存量(原油換算含む)の算出結果は表4のとおりである。

なお、各エネルギーの賦存量が県内のCO₂排出量の削減にどの程度寄与するかを把握するため、換算したCO₂量を県内の温室効果ガス排出量8,652千t(2010年度)で除した値をCO₂削減効果として同表に示した。

表4 賦存量の算出結果一覧

項目	熱量又は電力量	原油換算	CO ₂ 削減効果	備考
太陽エネルギー	3,584,000TJ	93,822,000kl	2840%	道路、河川、森林除く
風力エネルギー	22,106,000MWh	5,573,000kl	120%	
木質系バイオマス	2,460TJ	64,398kl	2.0%	林地残材、廃材
農業系バイオマス	2,152TJ	56,335kl	1.7%	稲わら、もみ殻
畜産系バイオマス	92TJ	2,403kl	0.07%	牛・豚・鶏の糞尿
し尿処理汚泥	10TJ	262kl	0.01%	
下水処理汚泥	99TJ	2,592kl	0.08%	
雪氷熱エネルギー	18,094TJ	473,665kl	14.3%	道路・商工業・宅地
波力エネルギー	12,614,400MWh	3,180,026kl	69%	

賦存量は、太陽エネルギーが 3,584,000TJ と最も多く、県内 CO₂ 排出量の約 28 倍を削減できる量であった。次いで、風力エネルギーであり、県内 CO₂ 排出量の 1.2 倍を削減できる量であった。また、波力エネルギーの賦存量も比較的多く、県内 CO₂ 排出量の約 7 割を削減できる量であった。

一方、畜産系バイオマス、し尿処理汚泥および下水処理汚泥の賦存量は少なく、その CO₂ 削減効果は 0.1% 以下であった。

3. 2 利用可能量の算出結果

3. 2. 1 太陽エネルギー

(1) 太陽光発電

太陽光発電の設置条件として 5 つのケースを設定し、その条件別に利用可能量を算出した。なお、設定条件の考え方は表 5 のとおりである。

また、設定条件に応じた設置容量 (kW) の算出方法を表 6 に示す。当該算出方法より求めた設置容量をもとに算出した条件別の利用可能量は表 7 のとおりである

全条件における総発電電力量は約 11 万世帯分の電力量に相当する 779,450MWh (賦存量の 0.2%) であり、県内 CO₂ 排出量の 4.2% を削減できる量であった。条件別では、延べ床面積 150 m² 以上の持ち家住宅や 1,500 m² 以上の耕作放棄地に太陽光発電を設置した場合に大きな発電電力量が期待できる結果であった。

表 5 設定条件の考え方

条 件	設定条件の考え方
【条件 1】 延べ床面積 150 m ² 以上の持ち家住宅	住宅の一般的な設置規模 4kW を設置するためには約 60 m ² の屋根面積が必要のため、延べ床面積 150m ² 以上の住宅とする。 借家では設置が困難なため持ち家とする。
【条件 2】 全公共施設 [全学校]	行政施策としての率先導入
【条件 3】 全コンビニエンスストア	大手コンビニエンスストア 4 社が太陽光発電の導入拡大の方針を打ち出している。
【条件 4】 従業員 50 人以上の事業所の 75%	事業所 (第 1 種エネルギー管理指定工場) アンケート調査において、導入意向を持っている事業者が全体の 74% を占めていた。
【条件 5】 1,500m ² 以上の耕作放棄地	国の導入ポテンシャル試算における設定条件に、1,500 m ² 以上の耕作放棄地への設置を挙げている。

表 6 設置容量の算出方法

【条件 1】 持ち家件数*1 (件) × 延べ床面積 150 m ² 以上住宅の割合*2 × 平均設置規模*3 (kW/件) *1: 200,900 件 (2008 年 10 月...福井県統計年鑑) *2: 41.1% (H20 年住宅・土地統計調査結果) *3: 4.29kW (環境政策課資料: 補助事業実績より)
【条件 2】 公共施設 [全学校] 件数*1 (件) × 平均設置規模*2 (kW/件) *1: 1,756 件 [525 件] (2010 年 5 月...福井県統計年鑑) *2: 7.76kW (県・市町施設設置実績...環境政策課資料)
【条件 3】 事業所数*1 (件) × 平均設置規模*2 (kW/件) *1: 256 件 (H19 年福井県商業統計調査) *2: 10kW (大手 4 社の平均的な設置規模)
【条件 4】 事業所数*1 (件) × 設置率 (0.75) × 設置規模*2 (kW/件) *1: 1,051 件 (H21 年 7 月...福井県統計年鑑) *2: 50kW (アンケート調査で最も導入実績の多い設置規模)
【条件 5】 耕作放棄地面積*1 (m ²) × 1,500 m ² 以上の耕作放棄地の割合*2 × 1kW 当たり必要設置面積*3 (m ² /kW) *1: 8,500,000 m ² (2010 年世界農林業センサス) *2: 0.8 (2005 年農林業センサスの耕作放棄地面積規模別経営体数から試算) *3: 15 m ² /kW (平成 22 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書)

表 7 利用可能量 (太陽光発電)

条 件	発電電力量 (世帯換算)	電力熱量換算 (原油換算)	CO ₂ 換算	CO ₂ 削減効果
【条件 1】 延べ床面積 150 m ² 以上の持ち家住宅	319,870MWh (45,050 世帯)	3,080 TJ (80,630 kl)	150,340tCO ₂	1.7%
【条件 2】 全公共施設	12,310MWh (1,730 世帯)	118 TJ (3,090 kl)	5,780tCO ₂	0.07%
【条件 2-2】 (内数) 全学校	<3,680MWh> (520 世帯)	<35 TJ> (920 kl)	<1,730tCO ₂ >	<0.02%>
【条件 3】 全コンビニ	2,310MWh (325 世帯)	22 TJ (580 kl)	1,090tCO ₂	0.01%
【条件 4】 従業員 50 人以上の事業所の 75%	35,590MWh (5,000 世帯)	343 TJ (8,980 kl)	16,730tCO ₂	0.2%
【条件 5】 1,500m ² 以上の耕作放棄地	409,370MWh (57,660 世帯)	3,942 TJ (103,200 kl)	192,400tCO ₂	2.2%
計 (条件 2-2 除く)	779,450MWh (109,765 世帯)	7,505TJ (196,480kl)	366,340tCO ₂	4.2%

(2) 太陽熱利用

県内の持ち家 (200,900 件...福井県統計年鑑: 2008 年 10 月) の 5 割に、一般的な規模である集熱面積 3m² の太陽熱温水器を設置した場合の利用可能量を算出した。

算出結果は表 8 のとおりである。

太陽熱温水器で得られる熱量は 660TJ であり、県内 CO₂ 排出量の 0.5% を削減できる量であった。

表 8 利用可能量 (太陽熱利用)

条 件	熱 量 (原油換算)	CO ₂ 換算	CO ₂ 削減効果
全持ち家住宅の 5 割 (規模: 集熱面積 3m ²)	660 TJ (17,280 kl)	45,270tCO ₂	0.5%

3. 2. 2 風力エネルギー

2005 年以降に北陸三県で稼働している風力発電所の平均規模 (10.7MW) を参考に、図 1 の風況マップから風力発電に良好な風が期待できる 9 箇所 (10MW 級風力発電所) を設置すると仮定した場合の利用可能量を算出した。算出結果は表 9 のとおりである。

風力発電で得られる発電電力量は、22,650 世帯分の電力量に相当する 160,830MWh (賦存量の 0.7%) であり、県内 CO₂ 排出量の 0.9% を削減できる量であった。

表 9 利用可能量 (風力発電)

条 件	発電電力量 (世帯換算)	電力熱量換算 (原油換算)	CO ₂ 換算	CO ₂ 削減効果
10MW 級風力発電所 9 箇所	160,830MWh (22,650 世帯)	1,550TJ (40,550kl)	75,590tCO ₂	0.9%

3. 2. 3 木質系バイオマス

木質系バイオマスの利用可能量については、林地残材 (切捨て間伐等) と木質廃材 (木屑や剪定枝) に分けて算出した。算出結果は表 10 のとおりである。

また、算出した熱量をもとに、チップボイラー (500kW) またはペレットストーブ (5kW) の燃料として利用した場合、何台分の燃料に相当するかを併せて試算した。

林地残材および木質廃材から得られる合計熱量は 225TJ (賦存量の 9.3%) であり、県内 CO₂ 排出量の 0.18% が削減できる量であった。また、チップボイラー 50 台分またはペレットストーブ 12,680 台分の燃料に相当する量であった。

表 10 利用可能量（木質系バイオマス）

項目	熱量 (原油換算)	CO ₂ 換算	CO ₂ 削減 効果	チップボイラー(500kW)換算 ペレットストーブ(5kW)換算
林地残材 (切り捨て間伐等)	105 TJ (2,750 kl)	7,200tCO ₂	0.08%	チップボイラー： 23台 ペレットストーブ： 5,900台
木質廃材 (木くず・剪定枝)	120 TJ (3,140 kl)	8,230tCO ₂	0.10%	チップボイラー： 27台 ペレットストーブ： 6,780台
計	225 TJ (5,890 kl)	15,430tCO ₂	0.18%	チップボイラー： 50台 ペレットストーブ： 12,680台

3. 2. 4 雪氷熱エネルギー

雪貯蔵庫の設置条件として3つのケースを設定し、条件別に利用可能量を算出した。なお、条件設定の考え方は表11のとおりである。

また、条件別の雪量の算出方法を表12に示す。

当該算出方法から求めた雪量をもとに算出した条件別の利用可能量は表13のとおりであり、全条件における合計熱量は70TJ（賦存量の0.4%）であり、県内CO₂排出量の0.06%を削減できる量であった。

表 11 条件設定の考え方

条 件	設定条件の考え方
【条件1】 全カントリーエレベータ	米の品質確保のためには低温貯蔵が必須であることから、米倉庫の冷房システムに活用する。
【条件2】 全中学校・高校	行政施策としての率先導入。他県での導入事例あり。
【条件3】 小売業（従業員30人以上）	小売業施設（スーパー等）は駐車場等の除雪は欠かせないことから、除雪した雪を有効利用する。 本県の従業員30人以上の小売業の平均売場面積が約1,000m ² （福井県商業統計調査）であり、NEDO再生可能エネルギー技術白書での設定施設規模（冷房面積）の1,000m ² と一致する。

表 12 雪量の算出方法

条 件	雪量の算出手法
【条件1】 全カントリーエレベータ	施設数 ^{※1} ×1施設当たりの雪量 ^{※2} *1：29件（各JA施設） *2：300t（NEDO再生可能エネルギー技術白書）…（米600t貯蔵可）
【条件2】 全中学校・高校	中学校・高校数 ^{※1} ×1施設当たりの雪量 ^{※2} *1：124校（2010年5月…福井県統計年鑑） *2：800t（NEDO再生可能エネルギー技術白書）…（冷房面積2,000m ² ）
【条件3】 小売業（従業員30人以上）	事業所数 ^{※1} ×1施設当たりの雪量 ^{※2} *1：215件（H19年福井県商業統計調査） *2：400t（NEDO再生可能エネルギー技術白書）…（冷房面積1,000m ² ）

表 13 利用可能量（雪氷熱エネルギー）

条 件	熱量 (原油換算)	CO ₂ 換算	CO ₂ 削減効果
【条件1】 全カントリーエレベータ	3 TJ (80 kl)	210tCO ₂	0.002%
【条件2】 全中学校・高校	36 TJ (940 kl)	2,460tCO ₂	0.03%
【条件3】 小売業（従業員30人以上）	31 TJ (810 kl)	2,120tCO ₂	0.03%
計	70 TJ (1,830 kl)	4,790tCO ₂	0.06%

3. 2. 5 波力エネルギー

表2の算出方法から求めた波力発電による利用可能量は表14のとおりであり、その発電電力量は17,525世帯分の電力量に相当する124,430MWh（賦存量の1%）で、県内CO₂排出量の0.7%を削減できる量であった。

表 14 利用可能量（波力発電）

項目	発電電力量 (世帯換算)	電力熱量換算 (重油換算)	CO ₂ 換算	CO ₂ 削減効果
波力発電	124,430 MWh (17,525 世帯)	1,200 TJ (31,360 kl)	58,480tCO ₂	0.7%

3. 2. 6 利用可能量のまとめ

各エネルギー毎に算出した利用可能量の一覧を表15に示す。

期待できる利用可能量が最も大きいエネルギーは太陽エネルギー（太陽光発電）であり、次いで風力エネルギー、波力エネルギーの順であった。

利用可能量の合計熱量は11,210TJであり、県内CO₂排出量の6.6%の削減に寄与できる量であった。

表 15 利用可能量の算出結果一覧

	熱量 (原油換算)	発電電力量 (世帯換算)	CO ₂ 削減 効果	賦存量に 対する割合
太陽エネルギー (太陽光発電)	7,505TJ (196,480kl)	779,450MWh (109,765世帯)	4.2%	0.2%
太陽エネルギー (太陽熱利用)	660TJ (17,280kl)	—	0.5%	<0.1%
風力エネルギー	1,550TJ (40,550kl)	160,830MWh (22,650世帯)	0.9%	0.7%
木質系バイオマス	230TJ (5,890kl)	—	0.2%	9.3%
雪氷熱エネルギー	70TJ (1,830kl)	—	0.1%	0.4%
波力エネルギー	1,200TJ (31,360kl)	124,430MWh (17,525世帯)	0.7%	1.0%
合 計	11,260TJ (294,57kl)	1,064,710MWh (149,940世帯)	6.6%	—

3. 3 利用実態等

太陽光発電、風力発電および木質系バイオマスについて、補助事業の実績や事業所へのアンケート調査等から把握できた県内の利用実態（導入容量）は表16のとおりである。なお、導入容量から年間発電電力量等を推定し、当該推定値の利用可能量に対する割合（利用率）も併せて同表に示した。

太陽光発電の導入容量（2012年度末）は28,155kWであり、利用率は3%であった。今後の計画として、福井市等においてメガソーラーの設置計画がある。

風力発電の導入容量は20,000kWであり、利用率22%である。今後の計画として、坂井市等において複数の2,000kW級風車の設置構想がある。

木質系バイオマスについては、「福井県木質バイオマス利用実態調査業務報告書」⁹⁾において把握されている木質系ボイラー・ストーブの設置台数をもとに、ボイラーおよびストーブの規模容量を500kW、5kWと仮定して容量を推定した。その推定値は11,955kWであり、利用率は47%である。今後の計画として、大野市等において5,000kW級以上の木質バイオマス発電の設置計画がある。

表 16 利用実態

項目	導入容量	利用率	
太陽光発電	住 宅	22,556kW (5,254件)	
	公共施設	923kW (119件)	
	事業所等	3,676kW (15件)	
	耕作放棄地	1,000kW (1件)	
	計	28,155kW	3%
風力発電	事業所等	20,000kW	22%
木質系バイオマス*	ボイラー	11,500kW	
	ストーブ	455kW	
	計	11,955kW	47%

*北陸電力黒部川火力発電所のバイオマス混焼は除く

4. まとめ

最新の統計データや行政機関等から入手した資料等を用いて、各再生可能エネルギーの県内における賦存量および利用可能量(設定条件における期待量)を算出した結果、以下のとおり、各エネルギーともそれぞれの視点から、本県において有効なエネルギーになり得ると考えられた。

なお、木質系バイオマスについては、利用可能量の約5割がすでに利用されており、また、今後の導入計画もあることから、新たな利用可能量の創出が望まれるエネルギーであると思われる。

- ・太陽エネルギーは賦存量、利用可能量ともに最も大きなエネルギーであり、現状の導入容量も大きく事業所の導入意向も高いことから、当面、本県における再生可能エネルギーの基幹エネルギーとして期待できる。
- ・風力エネルギーは、騒音やバードストライク等の課題があるものの、賦存量、利用可能量とも太陽エネルギーに次いで多く、利用が期待できるエネルギーである。
- ・雪氷熱エネルギーは、利用可能量はそれほど多くないものの、北海道や東北等で米や食品の保存用に多くの雪利用施設が導入されていることから¹⁰⁾、本県においても商品のブランド化の観点等から利用価値のあるエネルギーである。
- ・波力エネルギーは、県内での導入実績は無いが、現在、敦賀市や越前町で波力発電の実証研究が開始されており、賦存量、利用可能量も比較的多いことから、今後の技術開発によって本県における利用が期待できるエネルギーである。

なお、平成26年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画では、国がこれまで示してきた「2030年の発電電力量に対する再生可能エネルギー等の割合を約2割」の水準を更に上回る導入を目指すこととしており、今後、より一層の再生可能エネルギーの導入促進に向けて、大胆な政策的誘導や更なるコスト低減化技術および新技術の開発等が求められる。

参考文献

- 1) 吉川昌範他：再生可能エネルギーに関する事業所アンケート調査結果，福井県衛生環境研究センター年報，11，96-97(2012)
- 2) (財)新エネルギー・産業技術総合開発機構：新エネルギーガイドブック2008
- 3) (財)新エネルギー・産業技術総合開発機構：風力発電導入ガイドブック(2008年2月改訂第9版)
- 4) (社)日本風力発電協会：自然エネルギー白書(風力編)(2012年2月)
- 5) 資源エネルギー庁、NEDO：地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定ガイドブック(平成15年7月)
- 6) 三重県新エネルギービジョン(平成24年3月)
- 7) 秋田県新エネルギービジョン改訂版(平成16年3月)
- 8) 新潟市地域新エネルギービジョン(平成18年2月)
- 9) 福井県農林水産部県産材活用課：福井県木質バイオマス利用実態調査業務報告書(概要版)(平成23年2月)
- 10) (財)新エネルギー・産業技術総合開発機構：NEDO再生可能エネルギー技術白書(平成22年7月)，468-472

福井県における PM2.5 成分分析結果について

福島綾子・吉川昌範

Analysis of Fine Particulate Matter (PM2.5) in the Atmosphere of Fukui

Ayako FUKUSHIMA, Masanori YOSHIKAWA

1. はじめに

大気中の微小粒子状物質(PM2.5)は呼吸器系や循環器系に対する健康影響が懸念されており、2009年9月に環境基準が設定された(1年平均値 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、1日平均値 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$)。

また、環境省は2011年7月にPM2.5成分分析のガイドラインを定め、効果的なPM2.5対策の検討のため、質量濃度に加えて成分分析の実施を求めている¹⁾。

当センターでは平成25年度から県内2地点で成分分析調査を開始し、質量濃度、イオン成分濃度、炭素成分濃度、無機元素濃度を分析した。

本報では、平成25年度の調査結果から、PM2.5中の成分の季節変動や発生源について考察した結果を報告する。

2. 方法

2.1 試料採取

環境省の設定した統一試料捕集期間に併せて、年4季、各季2週間連続の調査を行った。

(1) 調査地点

福井局、大野局



(2) 調査日

春季 平成25年 5月8日(水) ～ 5月22日(水)

夏季 平成25年 7月24日(水) ～ 8月7日(水)

秋季 平成25年 10月23日(水) ～ 11月6日(水)

冬季 平成26年 1月22日(水) ～ 2月5日(水)

※サンプラー動作不良のため、福井局の10月23日の調査は欠測とした。

(3) サンプリング時間

サンプリング時間は朝10:00～翌朝10:00とした。

(4) 試料採取

試料採取には大気用シーケンシャルサンプラー(Thermo Scientific 社製 2025i)を用い、イオン成分および炭素成分分析用フィルターとして石英繊維フィルター(Pall 社製 2500QAT-UP)、質量濃度測定用フィルターとしてPTFEフィルター(Pall 社製 Teflo)を使用した。

2.2 分析法

環境省「大気中微小粒子状物質(PM2.5)成分測定マニュアル」²⁾に準拠して分析した。

(1) 質量濃度

試料採取前および採取後のPTFEフィルターを室温 $21.5 \pm 1.5^\circ\text{C}$ 、湿度 $35 \pm 5\%$ の恒温恒湿室に24時間以上放置した後、精密天秤を使用して $1 \mu\text{g}$ の単位まで秤量した。

(2) イオン成分

石英繊維フィルターの1/2を分析に使用し、超純水20mLで15分間超音波抽出した後、イオンクロマトグラフで測定した。

〈調査項目〉

アニオン： SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^-

カチオン： NH_4^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}

(3) 炭素成分

石英繊維フィルターを $\phi 8\text{mm}$ のポンチでくり抜き、炭素分析装置(柴田科学社製 DRI)を使用して分析した。

〈調査項目〉

OC(有機性炭素)、EC(元素状炭素)

(4) 無機元素成分

PTFEフィルターの1/2を分析に使用し、マイクロウェーブ酸分解後、分解溶液を濃縮および定容し、ICP-MSで測定した。

〈調査項目〉

Na、Al、K、Ca、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、As、Se、Rb、Mo、Sb、Ba、La、Th、Pb

※下記の成分については、二重測定結果が不良であったため、欠測とした。

大野局：春季 Sb、冬季 Ba

3. 結果と考察

3.1 季節別成分濃度および季節別成分組成

季節別成分濃度と季節別成分組成を図1、図2に示す。なお、大野局の夏季調査について、質量濃度はPM2.5自動測定機の1時間値から算出した日平均値を参考値として採用し、無機元素成分は欠測とした。

福井局と大野局の成分組成は、質量濃度の測定方法が異なる夏季を除いて類似していた。

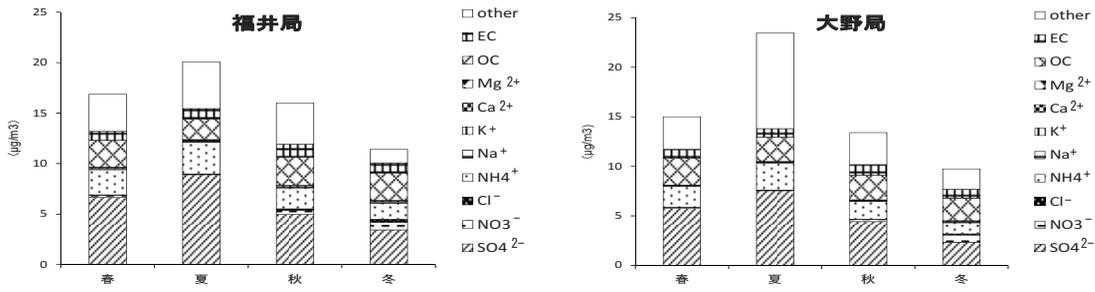


図1 季節別成分濃度

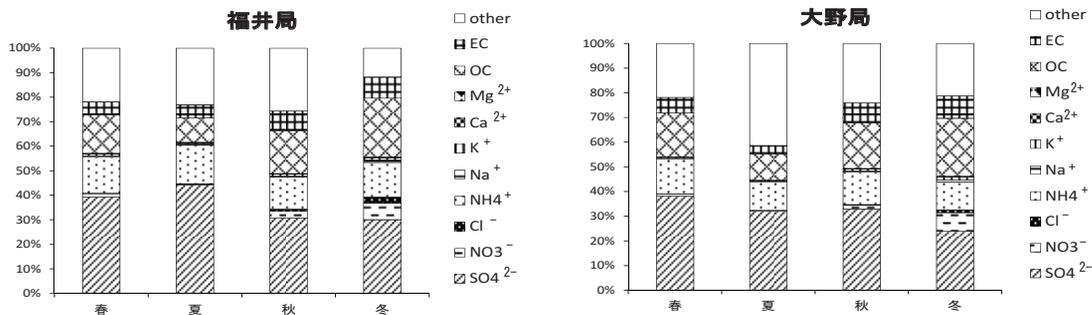


図2 季節別成分組成

3.1.1 質量濃度

調査期間中のPM2.5質量濃度は、福井局、大野局ともに夏季に高く、冬季に低い結果となった。また、同地点でのPM2.5自動測定機の質量濃度と比較すると、福井局、大野局ともに良い相関を示し、自動測定機と比べ、成分分析の質量濃度は2~3割程度低くなる傾向がみられた(図3)。

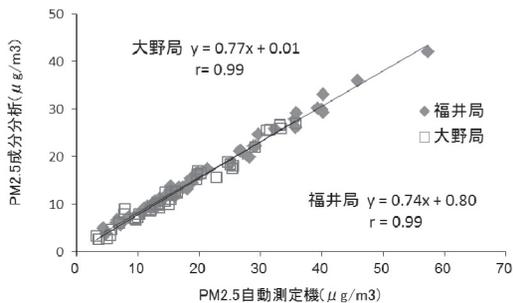


図3 自動測定機の質量濃度との比較

3.1.2 イオン成分

PM2.5中のイオン成分は、福井局で49%(秋季)~62%(夏季)、大野局で45%(夏季)~54%(春季)を占め、福井局、大野局ともに全ての季節で硫酸イオンの占める割合が最も高かった。季節毎に比較すると、硫酸イオン濃度は夏季に最も高く、硝酸イオンは冬季に高くなる傾向がみられた。

福井局および大野局の硫酸イオンおよび硝酸イオン当量の和とアンモニウムイオン当量の相関を図4に示す。

硫酸イオンおよび硝酸イオン当量の和は、アンモニウムイオン当量と1:1のバランスがとれていることから、硫酸イオンは主に硫酸アンモニウム粒子として存在し、硝酸イオンは主に硝酸アンモニウム粒子として存在していることが明らかとなった。

硝酸アンモニウム粒子は、高温でガス化に平衡が傾くことが知られている。冬季に硝酸イオンが高くなる要因として、冬季は気温が低く、粒子化に平衡が傾くことが影響していると考えられる。

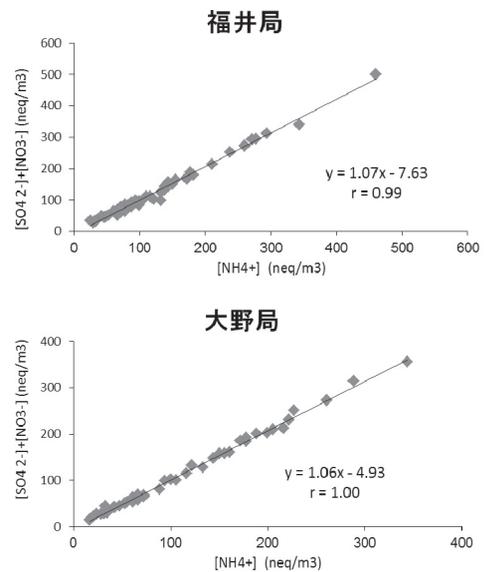


図4 硫酸イオンおよび硝酸イオン当量の和とアンモニウムイオン当量の相関

PM2.5中の硫酸イオンおよび硝酸イオンと大気常時監視データの相関係数を表1に示す。

大気中の硫黄酸化物は光化学反応を受けて硫酸イオンを生成し、大気中の窒素酸化物は光化学反応を受けて硝酸イオンを生成する。また、オキシダントは硫酸イオンや硝酸イオンと同様に、光化学反応を受けて生成する。表1の硫酸イオン濃度とオキシダント濃度に着目すると、春季および夏季に有意な相関がみられ、夏季に硫酸イオン濃度が高くなる要因として、光化学反応による二次生成が寄与していることが示唆された。また、硫酸イオン濃度と大気中の二酸化硫黄濃度については、大野局のみ春季、秋季、冬季において有意な相関がみられたが、今回の結果だけでは関係性を判断することはできなかった。

また、窒素酸化物濃度および硝酸イオン濃度はともに冬季に高く、福井局・大野局ともに冬季に良い相関がみられたことから、冬場の硝酸イオン濃度の上昇は、気温の低下に加えて、暖房器具の使用や逆転層の形成による地域的な大気中の窒素酸化物濃度の上昇の影響を受けていることが示唆された。

表 1 常時監視データとの相関

福井局	相関係数(r)			
	春	夏	秋	冬
SO ₄ ²⁻ : SO _x	0.61	0.30	0.63	0.44
NO ₃ ⁻ : NO _x	0.61	0.63	0.35	0.89*
SO ₄ ²⁻ : O _x	0.77*	0.84*	0.10	0.03

大野局	相関係数(r)			
	春	夏	秋	冬
SO ₄ ²⁻ : SO _x	0.66*	0.28	0.80*	0.71*
NO ₃ ⁻ : NO _x	0.62	0.42	0.42	0.73*
SO ₄ ²⁻ : O _x	0.73*	0.78*	0.32	0.03

*危険率 1% で有意な相関

3.1.3 炭素成分

PM2.5中の炭素成分は、福井局で15%(夏季)~33%(冬季)、大野局で15%(夏季)~32%(冬季)を占めていた。OC・ECともに冬季に組成に占める割合が最も高くなり、夏季に低くなる傾向がみられた。冬季に高くなる要因として、暖房器具等の燃焼由来の影響が考えられる。

OCとECの相関を図5、OCとECの組成を図6に示す。OCは主にVOCから二次生成され、ECは化石燃料の不完全燃焼等によって排出される。OCとECの濃度は相関がみられ、年間を通じてOCとECの組成比の変動は小さかった。

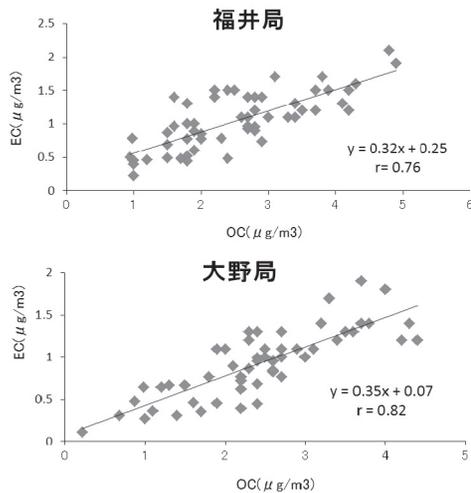


図 5 OC と EC の相関



図 6 OC と EC の組成比

3.1.4 無機元素成分

福井局における季節別無機元素成分濃度および組成を図7、図8に示す。

PM2.5中の無機元素成分21成分は福井局で2%~3%、大野局で2%を占め、全ての季節でNa、Al、Ca等、土壌や海塩に含まれる成分の占める割合が高かった。季節毎に比較すると、秋季に最も総濃度が高く、他の季節と比較してKが高濃度であった。

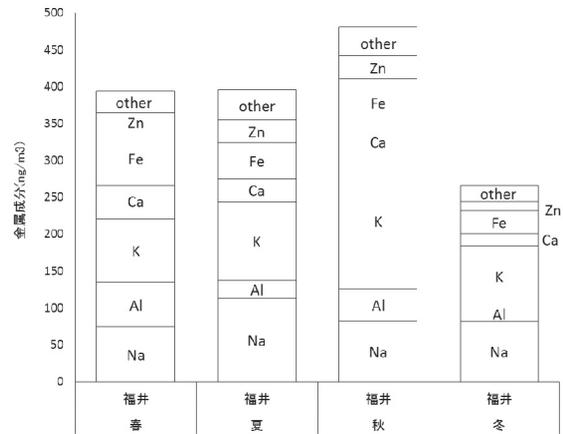


図 7 季節別無機元素成分濃度

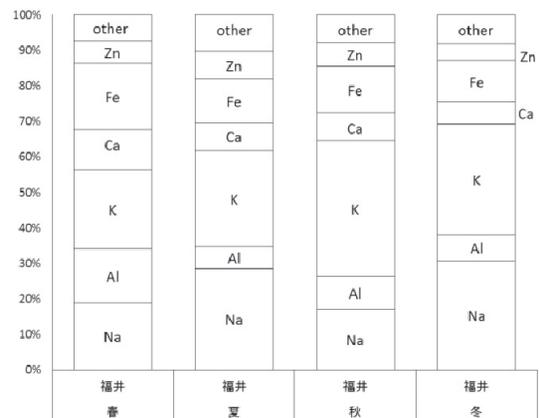


図 8 季節別無機元素成分組成

大陸からの長距離輸送の指標となる無機元素として、日置らは、Pb/Zn等の濃度比によって移流の推定が可能であると報告している³⁾。過去の有鉛ガソリンの使用状況から、大陸由来の寄与が大きい場合、Pb/Zn比が高くなり(文献値: 0.5~0.6)、国内由来の寄与が大きい場合はPb/Zn比が低くなる(文献値: 0.2~0.3)と推定している^{4,5)}。

また、福岡市の木下らは煙霧時にPM2.5のPb/Zn比が高くなったことを報告している⁶⁾。

福井局のPM2.5質量濃度とPb/Zn比を図9に示す。調査期間中、PM2.5質量濃度が日平均基準35μg/m³を超えた5月13日と7月27日の2日間は共にPb/Zn比が0.5~0.6の範囲に含まれ、大陸からの移流の影響を受けている可能性が示唆された。

長距離輸送の影響とPM2.5質量濃度について関係性を判断するためには、今後さらにデータを蓄積していく必要がある。

3.4 質量濃度による成分組成の違いについて

福井局における成分分析結果を質量濃度に対して下記の通りに分類し、それぞれの成分組成を比較した。

- ① 年平均基準値以下
 $\leq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (n=33)
- ② 年平均基準値超～日平均基準値以下
 $> 15 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim \leq 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (n=20)
- ③ 日平均基準値超
 $> 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (n=2)

①～③のイオン成分および炭素成分の成分組成を図 10、無機元素成分の組成を図 11 に示す。

①、②、③の順に、硫酸イオンの占める割合が高くなり、高濃度日には硫酸イオンの寄与が大きいことが明らかとなった。また、図 11 から、①、②、③の順に、主に鉄鋼業等、人為由来の成分である Fe の占める割合が高くなり、海塩由来成分である Na の占める割合が低くなった。

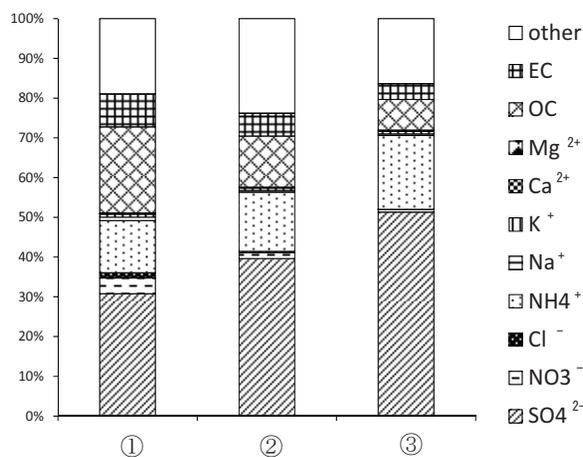


図 10 質量濃度に対するイオン成分・炭素成分組成比

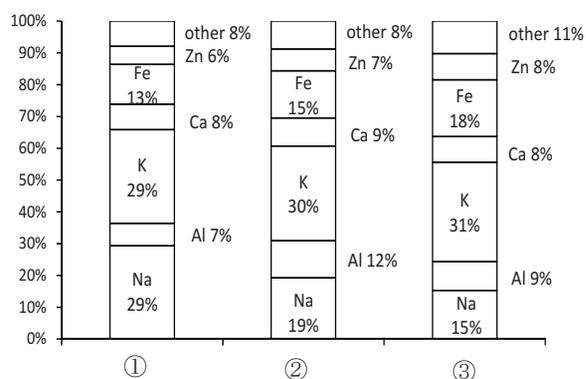


図 11 質量濃度に対する無機元素成分組成比

3.5 発生源寄与の推定

CMB法を用いて福井局における季節毎の発生源寄与濃度および発生源寄与率を推定した結果を図 12、図 13 に示す。

解析には東京都微小粒子状物質検討会報告書で報告された発生源プロフィールを使用した⁷⁾。

CMB法は一次粒子の発生源寄与割合を算出するものであるため、二次生成由来の寄与が含まれる硫酸イオン、硝酸イオン、塩化物イオン、アンモニウムイオンおよび OC は発生源プロフィールから除外した。また、測定を行っていない Se および Br についても発生源プロフィールから除外し、EC, Na, K, Ca, Al, V, Cr, Mn, Fe, Zn, As, Se, Sb, La の 14 成分を用いて解析を行った。

二次生成由来の寄与は、実測平均濃度から一次粒子として割り当てられた硫酸イオン、硝酸イオン、アンモニウムイオン、OC の濃度を差し引いて算出した。また、有機粒子は、二次生成由来として割り当てられた OC に有機物濃度への変換係数(1.4)をかけたものとした。

発生源寄与割合は、全ての季節で二次生成粒子の寄与が 60%以上を占め、一次粒子では自動車排ガスの寄与が最も高く、8.4%～15%を占めた。二次粒子由来の寄与が大きく、一次粒子では自動車排ガスの寄与が最も大きいことは、他県における調査結果と一致していた⁸⁻¹⁰⁾。

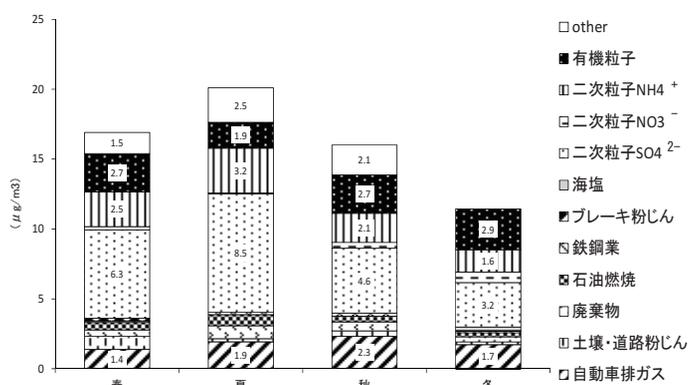


図 12 季節毎の発生源寄与濃度

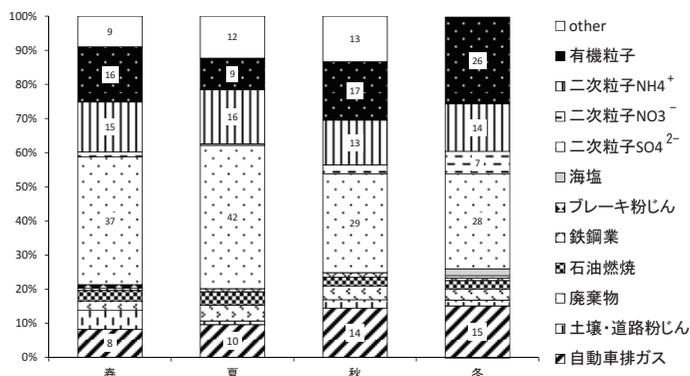


図 13 季節毎の発生源寄与率

4. まとめ

- ・ 福井局および大野局における PM2.5 成分分析調査の結果、イオン成分が高い割合を占め、イオン当量濃度から硫酸アンモニウム粒子および硝酸アンモニウム粒子として存在していることが明らかとなった。
- ・ 常時監視データとの比較から、夏季に硫酸イオン濃度が高くなる要因として、光化学反応による二次生成が寄与していることが示唆された。また、冬季の硝酸イオン濃度の上昇は、気温の低下に加えて、暖房器具の使用や逆転層の形成による地域的な大気中の窒素酸化物濃度の上昇の影響を受けていることが示唆された。
- ・ 高濃度時には硫酸イオンの寄与が大きく、長距離輸送の指標となる Pb/Zn 比から、調査期間中、日平均基準である 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた 2 日間については、大陸からの移流の影響を受けていることが示唆された。
- ・ CMB 法を用いて発生源寄与割合を推定した結果、二次生成粒子の寄与が最も高く、一次粒子では自動車排ガスの占める割合が最も高かった。

参考文献

- 1) 環境省:微小粒子状物質(PM2.5)成分分析ガイドライン
- 2) 環境省:大気中微小粒子状物質(PM2.5)成分測定マニュアル(平成 24 年 4 月)
- 3) 日置正他:降水中微量金属元素濃度比と鉛同位体比による長距離輸送と地域汚染の解析,大気環境学会誌,43(2),p100-111(2008)
- 4) 日置正他:松山,大阪,つくばで観測した浮遊粉じん中金属元素濃度比による長距離輸送と地域汚染特性の解析,大気環境学会誌,44(2),p91-101(2009)
- 5) 丸本孝治他:大気・降水中の水銀の発生源評価,電力中央研究所報告(2001)
- 6) 木下誠他:福岡市における PM2.5 の季節変動および黄砂・煙霧時の実態調査,福岡市保境研報,37,p53-57(2012)
- 7) 東京都微小粒子状物質検討会報告書(平成 23 年 7 月)
- 8) 辻敬太郎他:山梨県内の微小粒子状物質(PM2.5)汚染状況について,山梨衛環研年報 55,p91-92(2011)
- 9) 横田久司他:CMB 法による PM2.5 発生源寄与割合の試算について,東京都環境科学研究所年報,p148-149(2010)
- 10) 関東甲信越圏における PM2.5 キャラクターゼーション(第 4 報),第 54 回大気環境学会要旨集,p218(2013)