

# B 調 查 研 究

## 論 文

# 宮城県内の動物由来感染症の発生要因に関する疫学的研究

## Epidemiological Study of Zoonoses amongst Livestock and Pets in Miyagi

畠山 敬 小泉 光 市川 祐輝\*1 工藤 剛\*2 後藤 沙弥香\*3 木村 葉子\*2  
渡邊 香織\*4 中村 久子 山口 友美 八島 由美子\*5 吉川 弓林 後藤 郁男\*1  
福田 健二\*6 建入 茂樹\*1 佐藤 俊郎\*1 小林 妙子 渡邊 節

Takashi HATAKEYAMA, Hikari KOIZUMI, Yuki ICHIKAWA\*1, Takashi KUDO\*2,  
Sayaka GOTO\*3, Yoko KIMURA\*2, Kaori WATANABE\*4, Hisako NAKAMURA,  
Yumi YAMAGUCHI, Yumiko YASHIMA\*5, Yuri KIKKAWA, Ikuo GOTO\*1, Kenji FUKUDA\*6,  
Shigeki TATEIRI\*1, Toshiro SATO\*1, Taeko KOBAYASHI, Setsu WATANABE

動物由来感染症の実態を解明するために、県内の家畜と愛玩動物を対象とした調査を行った。その結果、特定地域の豚で腸管出血性大腸菌 (EHEC) の保菌率が高く、同一農場内で特定の血清型株が維持されていることが判明した。また、猫からも EHEC が分離されたことから、牛以外の動物も EHEC 感染症の発生原因となり得ることが示唆された。さらに、牛、豚及び犬の調査では陰性であったが、猫 5 頭からジフテリア毒素を産生するコリネバクテリウム属菌が分離された。分離株はいずれも *C. ulcerans* であり、宮城県も本菌の汚染地域であることが明らかとなった。

キーワード：動物由来感染症；豚；腸管出血性大腸菌；猫；ジフテリア毒素；コリネバクテリウム・ウルセランス  
Key words : Zoonosis ; Pig ; Enterohemorrhagic *E. coli* ; Cat ; Diphtheria toxin ; *Corynebacterium ulcerans*

### 1 はじめに

腸管出血性大腸菌やインフルエンザなど、我々が食中毒や感染症として関わる病原体の多くは動物が保有し、人感染症の 7 割 (約 200 種類) が動物由来感染症であると言われている<sup>1,2)</sup>。中でも、家畜はサルモネラ等多種類の病原体を保有しており、県内で年間 30-40 件の事例が発生する腸管出血性大腸菌 (EHEC) 感染症の主な原因血清型である O157 等は牛等反芻獣の腸内に存在することが多くの研究から既に明らかになっている<sup>3,4)</sup>。これら病原体は、保菌動物からの直接感染のみならず、汚染した環境物や食品を介して人に広域な感染を引き起こす。県内でも、過去に豚サルモネラ症の集団発生を食肉検査により発見し、広域流通を未然に防止した事例を経験しており、飼育牛が感染原因であった EHEC 感染症例を報告している<sup>5,6)</sup>。このような例からも、家畜は病原体の拡散原因として重要であり、その保菌状況を常に監視しておく必要がある。

また、コリネバクテリウム・ウルセランス (*C. ulcerans*) は、元来、家畜の膿瘍や乳房炎の起因菌である<sup>7-10)</sup>。しかし、2 類感染症に指定されるジフテリア (*C. diphtheriae*) と同じ毒素 (diphtheria toxin :

DT) を産生する株の存在から、近年注目されている<sup>11)</sup>。本菌による国内感染例に死者は出ていないが、重篤な場合はジフテリアと同様の症状を呈し致死率が高いと考えられることから、トキソイドワクチン接種率の低い年齢層では注意が必要である<sup>12)</sup>。感染原因として、海外では家畜等における保菌を示唆する報告があるが、国内での調査の実例は少なく特定に至っていない<sup>13)</sup>。国内では、発症者の多くに犬猫等ペットとの接触歴があり、これらの動物から毒素産生型の同菌が分離される例も報告されていることから、人の感染原因としてペット等の保菌が強く疑われている<sup>14)</sup>。

当該菌の国内における分離報告及び患者の発生は主に関東以西であったが、2011 年には山形県で患者が報告されており<sup>15)</sup>、本県も汚染地域である可能性が高いと想像される。しかし、県内の各種動物における当該菌の保菌比率、分布や地域性については未知であり、基礎的な調査が必要である。

そこで、本研究では、食肉衛生検査所及び動物愛護センターと共同で、県内の各動物が保有する腸管病原性細菌のバリエーションと DT 産生菌の存在実態を解明することを目的とした。

### 2 対象および検査方法

平成 25 年 6 月から平成 26 年 12 月までに、宮城県食肉流通公社に搬入された豚 254 頭、牛 64 頭と、宮城県動物愛護センターに搬入された犬 55 頭、猫 96 頭を対象として糞便と咽頭ぬぐい液を採取し、検査材料とした。

※1 食肉衛生検査所

※2 北部保健福祉事務所

※3 動物愛護センター

※4 環境対策課

※5 北部保健福祉事務所栗原支所

※6 東部保健福祉事務所

糞便から分離を行った腸管病原性細菌は EHEC, 腸管病原性大腸菌 (EPEC), サルモネラ属菌, カンピロバクター属菌 (*C. jejuni*, *C. coli*) とエルシニアとし, 咽頭ぬぐい液からは, DT 産生コリネバクテリウム属菌とした。

腸管病原性細菌は, PCR による増菌培養液中のベロ毒素遺伝子 (*vt1・2*), 腸管凝集付着性大腸菌耐熱性毒素遺伝子 (*astA*), 腸粘膜接着因子 (インチミン) 産生遺伝子 (*eaeA*) のスクリーニングの後に定法に従って分離し, 毒素型等を決定した。また, DT 産生性コリネバクテリウム属菌は, 荒川培地での発育菌に対して DT 遺伝子を標的とした PCR を実施し, 菌を単離した。

### 3 結果

#### 3.1 腸管病原細菌

58頭の牛に対して糞便検査を実施した結果, 22頭 (37.9%) から EHEC が分離された。EHEC の血清型と毒素型は O8(VT1), O15(VT2), O20(VT1), O152(VT2), O157(VT2), O159(VT2), OUT(VT1 及び VT2) であった。また, EPEC は 27頭 (46.6%) で, *eaeA* を保有する株が 6頭, *astA* が 21頭であった。さらに, *C. jejuni* が分離されたのは 5頭 (8.6%) で, *C. coli*, サルモネラ, エルシニアは分離されなかった (表 1)。

表 1. 牛の腸管病原性細菌の分離状況

菌種	EHEC	EPEC	<i>C. jejuni</i>
分離頭数	22	27	5
(%)	(37.9%)	(46.6%)	(8.6%)

豚では対象とした 180 頭のうち 11 頭 (6.1%) から EHEC が分離された。血清型は O8, O86a, O121, OUT に加えて O157 が分離されており, 保有する毒素型は全て VT2 であった。カンピロバクターは, *C. coli* が 77 頭 (42.8%) から分離されたが, *C. jejuni* は 3 頭 (1.7%) のみであった。また, エルシニアは 27 頭 (15.0%) 全てが O3 群であり, サルモネラ属菌は検出されなかった (表 2)。

表 2. 豚の腸管病原性細菌の分離状況

菌種	EHEC	<i>C. coli</i>	<i>C. jejuni</i>	エルシニア
分離頭数	11	77	3	27
(%)	(6.1%)	(42.8%)	(1.7%)	(15.0%)

腸管病原性細菌が分離された豚の出荷農場を地域別に見ると, EHEC は 34 農場中 7 農場 (20.6%) の豚から分離されており, 県北部地域が 5 農場, 東部地域と西部地域が各 1 農場であった。*C. coli* は 28 農場 (82.4%)

と, ほぼ全ての農場から分離された。また, *C. jejuni* は北部のみ 4 農場 (11.8%), エルシニアが 13 農場 (38.2%) であった (表 3)。

表 3. 豚の出荷地域と病原体分離農場数

地域(農場数)	分離菌種	EHEC	<i>C. coli</i>	<i>C. jejuni</i>	エルシニア
北部 (19)		5	15	4	5
東部 (3)		1	3	-	3
西部 (6)		1	4	-	2
その他 (6)		-	6	-	3
計 34 農場		7 (20.6%)	28 (82.4%)	4 (11.8%)	13 (38.2%)

豚の EHEC が北部地域の農場で多く分離されたことから, この地域の 6 農場に由来する 74 頭の豚を対象に追跡調査を行った。その結果, EHEC は 6 農場中 5 農場から分離され, 28 頭 (37.8%) が EHEC を保有していた。血清型としては O121 が 4 農場と多く, K3 農場では初回調査同様 O121, O86a が分離された (表 4)。

表 4. 豚 EHEC の追加調査結果

由来農場	調査頭数	保菌頭数	分離株の内訳	初回調査結果	
K1 農場	17	8	O121:H10(VT2): 8 株	未分離	
			OUT:H10(VT2): 1 株		
			-		
K2 農場	3	0	-	未分離	
			-		
			-		
K3 農場	21	9	O121:H10(VT2): 2 株	O121:H10(VT2): 2 株	
			O86a:HNM(VT2): 4 株		O86a:HNM(VT2): 1 株
			O86a:HUT(VT2): 3 株		OUT:H51UT(VT2): 1 株
H 農場	13	3	OUT:HUT(VT2): 1 株	O157:H7(VT2): 2 株	
			OUT:HNM(VT2): 2 株		OUT:H51(VT2): 1 株
			OUT:HUT(VT2): 2 株		未分離
I 農場	8	3	OUT:HNM(VT2): 1 株	未分離	
			O121:H10(VT2): 1 株		
			OUT:H10(VT2): 1 株		
S 農場	12	5	OUT:HUT(VT2): 3 株	未分離	
			O8:H9(VT2): 1 株		
			O121:H10(VT2): 1 株		
合計	74 頭	28 頭 (37.8%)	32 株	-	

また, 全ての農場で保菌率の高かった *C. coli* の遺伝子型をパルスフィールドゲル電気泳動 (PFGE) で比較した。その結果, *C. coli* は同一農場由来株であっても相同性が低いことが明らかとなった (図 1)。

犬 55 頭の調査では, EPEC, *C. coli*, *C. jejuni* が 5 頭から分離され, 腸管病原細菌の保菌率は 9.1% であった。また, 猫 96 頭では, EPEC, *C. coli* が 7 頭から分離され, EHEC O74:H20(VT2) が 1 頭から分離された。猫での保菌率は 7.3% であった (表 5)。

表 5. 犬猫の腸管病原性細菌の分離状況

病原体	犬での分離数と血清型等	猫での分離数と血清型等
EHEC	-	1 O74:H20 (VT2)
EPEC	3 OUT:H6 ( <i>astA</i> ) OUT:H7 ( <i>astA</i> ) OUT:H5 ( <i>eaeA</i> )	4 OUT:H3 ( <i>astA</i> ) O145:HUT ( <i>eaeA</i> ) O152:HUT ( <i>astA</i> ) O103:H45 ( <i>astA</i> )
<i>C. coli</i>	1	2
<i>C. jejuni</i> 及び EPEC	1 O103:H4 ( <i>eaeA</i> )	-
保有割合	5/55 頭 (9.1%)	7/96 頭 (7.3%)

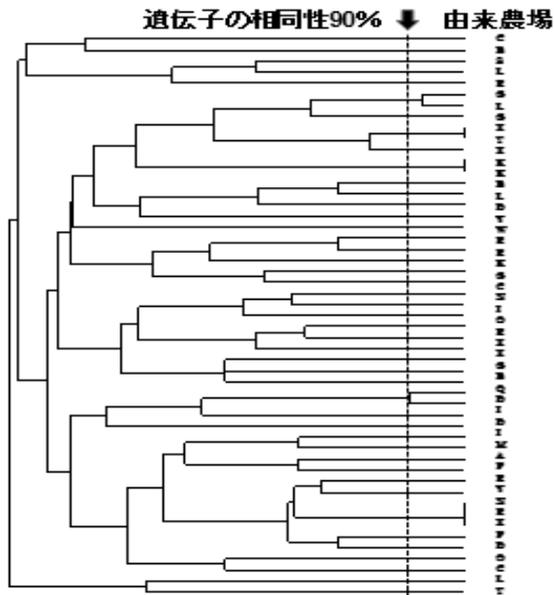


図1. PFGEによる豚 *C. coli* の相同性解析結果

3.2 DT 産生性コリネバクテリウム属菌

牛及び豚合計 304 頭、犬 55 頭の咽頭から DT 産生菌の分離を行ったが、結果は陰性であった。しかし、96 頭の猫のうち西部地域で 2 頭、仙台市との隣接地域で 2 頭から DT 遺伝子を保有するコリネバクテリウム属菌を分離した。いずれの猫も動物愛護センターへの搬入日は異なり、飼育環境は不明であった。感染猫は、平成 24 年度に行った予備調査 (48 頭) でも西部地域で 1 頭見つかり、これらの猫に由来する 5 株を精査の対象とした。

生化学試験及び RNA polymerase  $\beta$ -subunit 領域 (*rpoB*) の DNA シーケンスを実施した結果、分離株はいずれも *C. ulcerans* と同定された (図 2)。

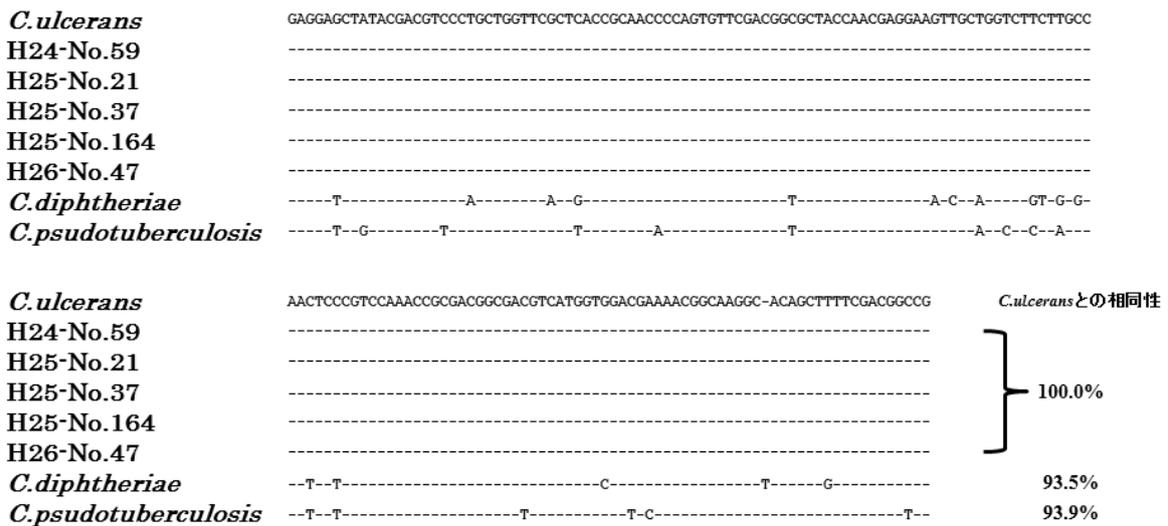


図2. 猫由来 5 株の *rpoB* 塩基配列

4 考察

人の腸管病原性細菌の多くは家畜が保有している。特に、夏季の消化器系感染症の主な原因菌である EHEC O157 等が、牛等反芻獣の腸内に高率に存在することは広く知られており、本研究でも他の報告と同様の結果を示している。その他にも、家畜からはカンピロバクター属菌やサルモネラなどが分離されるが、これら腸管病原性細菌の種類は感染家畜との接触や飼養環境の汚染等、農場の衛生状態に変化すると考えられる。また、愛玩動物は家畜に比べて腸管病原性細菌の保菌率が低いとされているが、その実態は良く知られていなかった。そこで、本研究においてその実態を調査した結果、豚も牛と同様に各種血清型の EHEC を保菌しており、人 EHEC 感染症の代表的な血清型

である O157 (VT2) により汚染されている農場が存在することが明らかとなった。特に、県北部地域の豚の感染率は約 4 割と、福山らの報告<sup>16)</sup>に比べて想像以上に高く、同じ血清型株が同一農場内で恒常的に維持されていることが確認された。サルモネラはいずれの農場からも分離されなかったが、約 8 割の農場から *C. coli* が、約 4 割からエルシニア (O3 群) が分離された。*C. coli* は遺伝子型のバリエーションが多く、同一農場由来株であっても相同性が低いことから、豚は既に多くの亜型を保有していることが確認された。さらに、猫の EHEC 保菌は予想外であり、人の生活環境に近い動物も EHEC 感染症の発生原因となり得ることが示唆された。

また、ジフテリアは、殆どの人が幼少期にトキソイ

ドワクチンを接種することから、大規模な流行はないと考えられる。しかし、ジフテリアをはじめとするDT産生性コリネバクテリウム属菌によるヒト健康被害は今も続いており、50歳代のワクチン接種率が低い国内の状況と併せて厚生労働省も問題視している<sup>17)・18)</sup>。国内での人の*C. ulcerans*感染例では飼い猫から菌が分離されたケースも存在しており、患者発生を受けて行われた山形県での広域調査では1.1%の飼い猫にDT抗体が存在したとの報告がある<sup>19)</sup>。今回、愛玩動物と家畜を対象に県内での存在実態を調査した結果、予備調査の44頭を含めた計144頭の猫のうちの5頭(3.5%)からDT産生性*C. ulcerans*が分離され、宮城県も本菌による汚染地域であることが初めて明らかとなった。感染が確認されたのは健康状態が良好な成猫と若齢猫であり、いずれも人口密度の比較的高い2地域に由来するものであった。残念にも、感染猫の飼育環境に関する情報は得られなかったが、若齢猫の感染源は親猫と考えられることから、これらの地域では行動範囲が重なる他の猫や動物にも既に感染が広がっている可能性が示唆された。

## 参考文献

- 高橋幸子：我が国における動物由来感染症対策について、*モダンメディア*, 53(3), 61-66(2007)  
([http://www.eiken.co.jp/modern\\_media/backnumber/pdf/MM0703-01.pdf](http://www.eiken.co.jp/modern_media/backnumber/pdf/MM0703-01.pdf))
- 畜産物等食品を由来とする人獣共通感染症の発生に係る緊急事態に備えた食品の安全性の確保に関する調査報告書、内閣府食品安全委員会事務局 平成16年度食品安全確保総合調査
- 食品健康影響評価のためのリスクプロファイル 牛肉を主とする食肉中の腸管出血性大腸菌(改訂版)、内閣府食品安全委員会 2010年
- 畠山敬：動物におけるヒト感染症病原体の保有状況、宮城県保健環境センター平成17年度経常研究報告書
- 齋藤紀行, 伊藤友美, 畠山敬, 秋山和夫, 白石廣行：飼育牛からの感染が疑われた腸管出血性大腸菌O26感染散发事例, *IASR*, Vol.21, No.2(2000)
- 川村健太郎, 中田聡, 平塚雅之, 田原亜希子, 西村肇, 小野聡美：管内と畜場でみられた豚サルモネラ症, 宮城県食肉衛生検査所平成21年度調査研究 (<http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/244676.pdf>)
- Barrett N.J. : Communicable disease associated with milk and dairy products in England and Wales :1983-1984, *J Infect*, 12, 265(1986)
- Hommez J., Devriese L.A., Haesebrouck F., et al. : Identification of nonlipophilic *Corynebacteria* isolated from dairy cows with mastitis, *J Clin Microbiol*, 37, 954(1999)
- Tejedor M.T., Martin J.L., Lupiola P., Gutierrez C. : Caseous lymphadenitis caused by *Corynebacterium ulcerans* in the dromedary camel, *Can Vet J*, 41, 126(2000)
- Fox J.G., Frost W.W. : *Corynebacterium ulcerans* mastitis in a bonnet macaque (*Macaca radiata*), *Lab Anim Sci*, 24, 820(1974)
- 畑中章生, 岡本誠, 中村朗, 大江健二, 小宮貴子, 岩城正昭, 荒川宜親, 高橋元秀：本邦で始めて確認されたコリネバクテリウム・ウルセランスによるジフテリアの症例, *IASR*, 23, 61(2002)
- 高橋元秀：ジフテリア毒素原性 *Corynebacterium ulcerans* の感染症, *日獣会誌*, 63, 813(2010)
- 中嶋洋, 大島律子, 石井学, 檜原幸二, 仲克巳：県内における食中毒及び感染症起因菌の疫学的解析, *岡山県環境保健センター年報*, 36, 69-74(2012)
- 吉村幸浩, 山本明彦, 小宮貴子：飼い猫の排膿に伴って、経皮的に腋窩リンパ節に膿瘍を生じたことが強く疑われる *C. ulcerans* 感染症の例, *IASR*, Vol. 31, 331(2010)
- Urakawa T., Seto J., Yamamoto A., Nakajima T., Goto S. Subcutaneous abscess formation in the upper extremity caused by toxigenic *Corynebacterium ulcerans*. *J Med Microbiol.*, 62, 489(2013)
- 福山正文, 古畑勝則, 大仲賢二, 八木原怜子, 小泉雄史, 原元宣, 堂ヶ崎知格, 島田時博, 栗林尚志, 中澤宗生, 渡邊忠男：豚からの Vero 毒素産生性大腸菌(VTEC) の分離および血清型, *感染症学雑誌*, 77, 1032(2003)
- ジフテリア 2006年現在, *IASR*, 27, 331 (2006)  
(<http://idsc.nih.gov/iasr/27/322/tpc322-j.html>)
- コリネバクテリウム・ウルセランスによるジフテリア様症状を呈した患者に対する対応について(平成14年11月20日健康発1120001号厚生労働省健康局結核感染症課長通知)
- 瀬戸順次, 安孫子千恵子, 小宮貴子, 山本明彦：山形県における飼い猫のジフテリア毒素原性 *Corynebacterium ulcerans* 感染状況調査, *日獣会誌*, 67, 613(2014)

# 環境中におけるレジオネラ属菌分布状況調査

## Distribution of *Legionella* spp. in the Environment

山口 友美 畠山 敬 渡邊 節

Yumi YAMAGUCHI, Takashi HATAKEYAMA, Setsu WATANABE

レジオネラ属菌が主に環境中に生息することから、宮城県内の水たまりに注目してレジオネラ属菌の分布状況を調査した結果、レジオネラ属菌が 26 株分離された。うち 5 株はレジオネラ症患者から検出されることが多い *Legionella pneumophila* 血清群 (SG) 1 であったことから、水たまりがレジオネラ症の感染源となりうる可能性が示唆された。

キーワード：レジオネラ症；*Legionella pneumophila* 血清群 1；水たまり

Key words: Legionellosis; *Legionella pneumophila* serogroup 1; rainwater on roads

### 1 はじめに

レジオネラ症は、レジオネラ属菌が原因で起こる感染症である。レジオネラ属菌は、河川、池、沼、土壌など自然界に広く生息しており、レジオネラ属菌を含むエアロゾルや塵埃などを吸入することにより感染し、発症する。レジオネラ症患者から分離されるのは、*Legionella pneumophila* 血清群 1 (SG1) が大半を占めている。

2011年～2013年に宮城県においてレジオネラ症として届出のあった患者は109名であり、2011年が16名、2012年が27名、2013年が66名と年々増加している。この109名のうち、届出時に感染源が判明していたのは44%（水系が38%、塵埃が6%）で、残りの56%は感染源が不明であった。

国立感染症研究所および地方衛生研究所を主体とするレジオネラ・レファレンスセンターで実施した *L.pneumophila* SG1 臨床分離株の sequence-based typing (SBT) 法による遺伝子型別の結果では、感染源不明の臨床分離株の多くが S グループ（土壌分離株が多い）に属していたと報告があり<sup>1)</sup>、自然環境中にも感染源が存在する可能性は高いと考えられる。そこで本研究では、自然環境中でエアロゾルの発生源となり得る水たまりに着目し、レジオネラ属菌の分布状況を調査したので報告する。

### 2 対象および検査方法

#### 2.1 調査地点

調査期間は2014年7月～10月。調査対象は名取市、岩沼市、富谷町、利府町など7市8町の県内29カ所のアスファルト道路の水たまりとし、雨天の当日または翌日に検体を採取した。採水地点を図1に示した。

#### 2.2 検体の前処理

検体はフィルターろ過による濃縮や滅菌精製水による希釈の操作を行い濃縮試料、非濃縮試料および希釈試料を作製した。

さらに、分離培養の前処理として濃縮、非濃縮、希釈

試料それぞれについて酸処理（0.2M KCl-HCl, pH2.2にて20分）または熱処理（50℃20分）を行った。

#### 2.3 LAMP 法による遺伝子検出

濃縮、非濃縮および希釈試料の一部を分取してアルカリ熱抽出法によりDNAを抽出し、LAMP法の測定キットであるLoopampレジオネラ検出試薬キットE（栄研化学）を用いてレジオネラ属菌遺伝子の検出を行った。

#### 2.4 レジオネラ属菌の分離培養

酸処理または熱処理を行った試料をMWY寒天培地およびGVPC寒天培地へ塗抹し、35℃で10日間培養した。

分離されたレジオネラ属菌はLEGプライマーおよびLmpプライマーを用いてPCR法を実施し<sup>2)</sup>、レジオネラ属菌および*L.pneumophila*の同定を行った。また、レジオネラ免疫血清（デンカ生研）およびレジオネララテックステスト（OXOID）を用いて血清型別を実施した。



図1 採水地点

## 2.5 分離菌株の遺伝子解析

*L.pneumophila* SG1 と同定された株については、パルスフィールドゲル電気泳動 (PFGE) 法を実施した。*Sfi* I (20U/sample) を用いて 50°C で 4 時間の制限酵素処理を行い、パルスタイム 5 秒から 50 秒、電圧 6V/cm で 19 時間泳動した。PFGE パターンの解析には Fingerprinting II (BIO-RAD) を用いた。

## 3 結果

### 3.1 分離培養法および LAMP 法の結果

分離培養法と LAMP 法の結果を表 1 に示した。レジオネラ属菌が分離されたのは 29 検体中 12 検体、LAMP 法によりレジオネラ属菌遺伝子が検出されたのは 13 検体、菌分離または遺伝子のいずれかが陽性だったのは 16 検体であった。

分離培養法が陽性で LAMP 法が陰性だったのは 3 検体で、すべて菌数が 1,000~10,000 未満の検体であった。反対に、分離培養法陰性で LAMP 法が陽性だったのは 4

表 1 分離培養法と LAMP 法の結果

培養法 (cfu/100mL)	LAMP法	
	陰性	陽性
検出せず	13	4
100~1,000未満	0	2
1,000~10,000未満	3	5
10,000以上	0	2

表 2 分離培養法 (濃縮倍率別) の結果

検体No	濃縮倍率		
	10×濃縮	非濃縮	×10希釈
C8	—	3,000	20,000
C9	—	6,000	—
C10	—	2,000	—*2
C11	—	2,000	5,000 <sup>*2</sup>
C16	—	1,000	—
C19	—	2,000	—
C20	—	1,000	—*2
C22	—	1,000	—*2
C25	—*1	2,000	—
C26	100	—	—
C27	—*1	3,000	30,000
C32	200	—	—

\*1 : 5×濃縮

\*2 : ×5希釈

単位 : cfu/100mL

検体であった。

分離培養法で陽性となった 12 検体について、濃縮倍率別の結果を表 2 に示した。非濃縮試料で陽性だったのは 10 検体で、そのうち 7 検体は濃縮試料も培養を実施したがすべて陰性であった。非濃縮試料で陰性だった 2 検体は濃縮試料では陽性であった。

LAMP法で陽性となった13検体について、濃縮倍率別の結果を表3に示した。濃縮試料で陰性であっても、非濃縮試料では陽性であった検体が7検体、非濃縮試料が陰性で、希釈試料で陽性であった検体 (濃縮は実施せず) が1検体確認された。

表 3 LAMP 法 (濃縮倍率別) の結果

検体No	濃縮倍率		
	10×濃縮	非濃縮	×10希釈
C3	—*1	+	—
C8	—	+	—
C10	—*2	+	—
C11	—*2	+	—
C12	—*2	+	—
C15	+	—	—
C17	+	—	—
C20	—	+	—
C22	—	+	—
C25	—	+	—
C26	+	—	—
C27	—	—	+
C32	+	—	—

\*1 : 100×濃縮

\*2 : 20×濃縮

表 4 分離された菌種および血清型

菌種	検出数
<i>L.pneumophila</i> SG1	5
SG5	1
SG6	3
SG8	7
SG9	1
SG10	1
SG14	2
SGUT	1
その他のレジオネラ属菌	5
計	26

### 3.2 分離されたレジオネラ属菌の菌種および血清型

12検体から分離されたレジオネラ属菌の菌種および血清型を表4に示した。分離されたレジオネラ属菌は全部で26株であり、そのうち21株が*L.pneumophila*、5株が*L.pneumophila*以外のレジオネラ属菌であった。

また、*L.pneumophila*の血清型別では、SG1、5、6、8、9、10、14など様々な型が検出されたが、SG8が最も多く7株、次いでSG1が5株、SG6が3株であった。

### 3.3 採水地点別の結果

採水地点別の結果を図2に示した。分離培養・LAMP法ともに陰性の地点は6市4町の13地点、LAMP法による遺伝子のみを検出した地点が2市1町の4地点、分離培養法でレジオネラ属菌を検出した地点が2市4町の7地点、分離培養で*L.pneumophila* SG1を検出した地点が1市4町の5地点であった。

レジオネラ属菌を検出しなかった地点、レジオネラ属菌を検出した地点、*L.pneumophila* SG1を検出した地点はそれぞれ、様々な市町に分布しており、明らかな偏りは見られなかった。

### 3.4 PFGE法による遺伝子解析

*L.pneumophila* SG1と同定された5株についてはPFGE法を実施した。この菌株と合わせて、平成26年度に実施した旅館および公衆浴場浴槽水検査で検出された*L.pneumophila* SG1(17株)についてもPFGE法を実施した。解析結果を図3に示した。

実線で囲んだ株が今回の調査で分離された水たまり由来株、それ以外の株が浴槽水由来株である。浴槽水由来株の中には点線で囲んだ株のように類似度が96%と高い株が見られた。しかし、水たまり由来の5株の類似度はそれぞれ32~72%と低く、浴槽水由来株と類似度の高

い水たまり由来株も見られなかった。

## 4 考察

レジオネラ症は浴槽水が重要な感染源であるといわれており、宮城県では旅館や公衆浴場におけるレジオネラ防止対策が条例に基づき行われている。しかし、レジオネラ症として届出のあった事例の感染源を調査したところ、半数以上の事例で感染源の特定ができていないというのが現状であった。

今回の調査では、水たまり 29 検体中 16 検体 (55.2%)



図2 採水地点別の結果

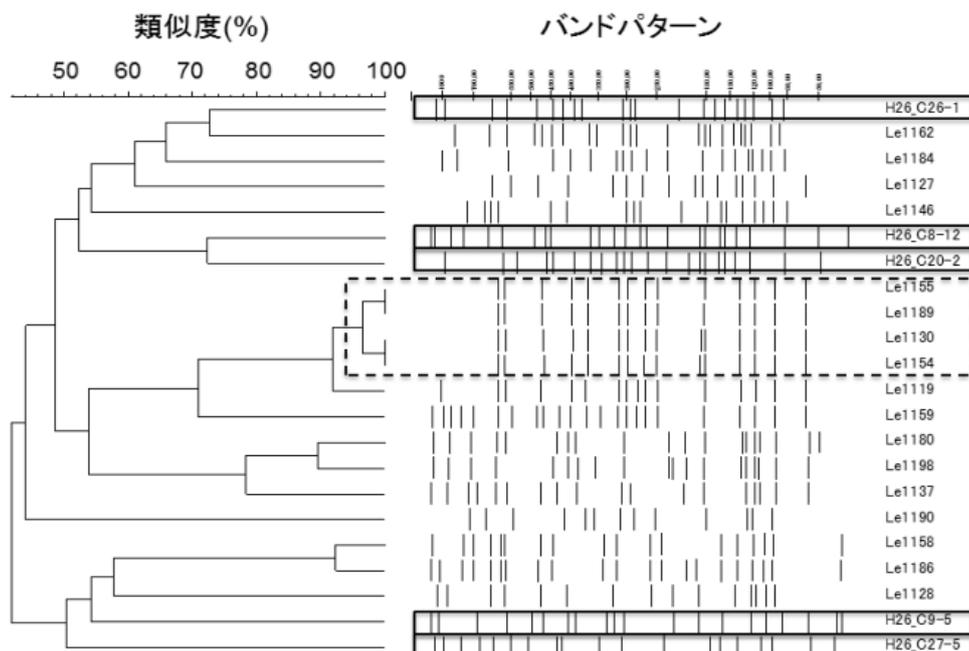


図3 PFGE法による遺伝子解析

でレジオネラ属菌が分離または遺伝子が検出された。一部の検体では、分離培養法と LAMP 法の結果が異なっていたが、それぞれの検査の特性が影響しているものと考えられた。すなわち、分離培養法ではレジオネラ属菌の発育を妨げるような雑菌の影響、LAMP 法では検体中に含まれる PCR 阻害物質の影響による偽陰性や死菌の DNA による偽陽性反応などが考えられる。このような結果の乖離については、今後も検討が必要である。

また、同一の検体であっても検体の濃縮倍率により結果に差が生じ、濃縮試料より非濃縮試料のほうが検出率がよいという検体が多くみられ、分離培養法、LAMP 法ともに同様の傾向を示した。これについても、分離培養法と LAMP 法の結果が乖離したことと原因はほぼ同じであると考えられたが、今回の結果から同一検体から様々な濃縮倍率の試料を作製して検査を行うことにより、偽陰性となる検体を最小限にできることが示唆された。

分離されたレジオネラ属菌の血清型別では、レジオネラ症患者から検出されることが多い *L.pneumophila* SG1 が宮城県内の水たまりにも存在することが明らかとなった。さらに、*L.pneumophila* SG1 の遺伝子解析の結果からは、分離株同士の類似度は低く、県内の水たまりには様々なタイプが存在することが推測された。富山県における調査では、水たまりから *L.pneumophila* SG1 が最も多く分離されている<sup>3)</sup>。宮城県においても *L.pneumophila* SG1 が分離されたことは、レジオネラ症は主に梅雨の時期である 7 月に発症のピークがある<sup>4)</sup>ことから、水たまりがレジオネラ症の感染源となり得る可能性を示唆している。日常の身近な自然環境からも

レジオネラ属菌に曝露する機会があるとの認識が必要であるとされた。

PFGE や SBT などの遺伝子解析法は、菌株の多様性を把握することが可能であり、感染源特定のために有用な手段である。しかし、レジオネラ症は尿中抗原検査で簡便に診断することができるため、患者の喀痰培養検査を実施している医療機関は少なく、現状では患者の菌株確保は困難である。レジオネラ症の疫学解析のためにも各医療機関には臨床分離株または喀痰などの検査材料の確保をお願いしたい。

今後も、環境由来レジオネラ属菌のデータを蓄積するとともに、臨床分離株との比較解析も実施し、疫学情報の提供に役立てたいと考える。

## 謝辞

本研究は平成 26 年度宮城県公衆衛生研究振興基金の研究助成により行われたものである。

## 参考文献

- 1) レジオネラ・レファレンスセンター報告（衛生微生物技術協議会第 35 回研究会）
- 2) 国立感染症研究所，病原体検出マニュアル「レジオネラ症」
- 3) 病原微生物検出情報 34：163-164，2013
- 4) 病原微生物検出情報 29：327-328，2008

# 過去 10 年間の宮城県におけるサルモネラの検出状況について

## Prevalence of Salmonella in Miyagi in the past decade

小泉 光 木村 葉子\*<sup>1</sup> 中村 久子 小林 妙子 渡邊 節  
Hikari KOIZUMI, Yoko KIMURA, Hisako NAKAMURA,  
Taeko KOBAYASHI, Setsu WATANABE

2005年から2014年の10年間に宮城県内で分離された散発下痢症由来サルモネラ感染者株（以下散発下痢症株）400株を同定したところ、血清型は62種類に型別され、*S. Enteritidis*（以下SE）64株、*S. Typhimurium*（以下ST）40株、*Salmonella Infantis*（以下SI）が32株であった。薬剤感受性試験の結果、いずれかの薬剤に耐性を示したのは93株で、薬剤別ではテトラサイクリンに耐性を示した株の検出率が高かった。2014年に分離された散発下痢症株および2014年食中毒由来株のSE株についてパルスフィールドゲル電気泳動（PFGE）法による遺伝子解析の結果、2014年食中毒由来株と同時期に分離された散発下痢症株で高い相同性がみられた。また、2012年から2014年の3年間に宮城県産牛108頭、豚294頭の盲腸内容物のサルモネラ汚染を調査したところ、サルモネラ属菌は検出されなかった。

キーワード：サルモネラ；散発下痢症；薬剤感受性；PFGE

*Key words* : *Salmonella* ; Sporadic Diarrhea ; Drug Susceptibility ; PFGE

### 1 はじめに

わが国におけるサルモネラ食中毒は1989年以降増加していたが、1999年の825件をピークにその後は減少傾向を示している。しかし依然として食中毒原因細菌としてはカンピロバクターに次いで第2位を占める。近年の食品流通の広域化に伴ない食中毒事件は大規模化し、過去10年間の患者数500人以上の食中毒事例31件のうち3件がサルモネラ属菌による事例である<sup>1)</sup>。さらに、統計上処理される食中毒による患者の他に、市中では散発下痢症患者としてサルモネラ感染者が存在している。また、検出される菌種も従来のパンデミック型であるSE以外に多くの血清型が分離され、薬剤耐性菌の増加も指摘されている。当所では食中毒やdiffuse outbreakを早期に探知する目的で2005年から散発下痢症株の分与を受け、菌の同定および薬剤感受性試験を行ってきた<sup>2)</sup>。本研究では、過去10年間の宮城県における散発下痢症株の検出状況および、2014年散発下痢症株と食中毒由来株を比較した。また、牛・豚の盲腸内容物の保菌調査を行ったので報告する。

### 2 対象および検査方法

#### 2.1 対象

2005年から2014年までに宮城県医師会健康センターより分与された散発下痢症株400株を精査した。また2012年から2014年に宮城県食肉衛生検査所で処理された県内産の牛108頭、豚294頭の盲腸内容物402検体についてサルモネラ属菌の分離を試みた。

PFGEは、2014年散発下痢症SE9株および2014年

食中毒関連調査由来SE4株の合計13株について実施した。

#### 2.2 方法

分与された散発下痢症株は、SS寒天培地（栄研化学）で再分離し、疑わしい集落はTSI寒天培地（栄研化学）、LIM培地（栄研化学）、VP半流動培地（栄研化学）に接種して生化学性状を確認後、サルモネラ免疫血清（デンカ生研）を用いてスライド凝集法によりO抗原を、試験管凝集法によりH抗原を決定し、菌を同定した。

盲腸内容物は、SS寒天培地及びMLCB寒天培地（日水製薬）に塗抹、RV培地（MERCK）10mlに接種、36±1℃、24±2時間培養後、さらにRV培地培養液をSS寒天培地およびMLCB寒天培地に塗抹した。

分離株の薬剤感受性試験は、NCCLS法規格に準拠した一濃度ディスク拡散法（KBディスク：栄研化学）を用いた。すなわち、菌株をトリプトソイブイオン（栄研化学）で35℃で培養しMcFarland0.5になるよう滅菌生理食塩水で調整したものを被検菌液とし、ミューラーヒントン寒天培地（OXOID）に滅菌綿棒で塗抹した。アンピシリン（ABP:10μg）、ホスホマイシン（FOM:50μg）、ノルフロキサシン（NFX:10μg）、トスフロキサシン（TFX:5μg）、レボフロキサシン（LVX:5μg）、セファロチン（CET:30μg）、セフォタキシム（CTX:30μg）、セフトジジム（CAZ:30μg）、セフェピム（CFP:30μg）、セフォキシチン（CFX:30μg）、カナマイシン（KM:30μg）、テトラサイクリン（TC:30μg）、イミペネム（IPM:10μg）の13剤のディスクを、35℃で16～18時間培養し、添付文書記載の基準に従って判定を行った。

2014年散発下痢症株及び2014年食中毒関連調査由来株のSE株について、PFGE法による遺伝子解析を行

\*1 現 北部保健福祉事務所

った。分離 SE 株は、ハートインフュージョンブイヨン培地 (栄研化学) で 37℃ 一夜振盪培養し、Ribot ら 4) の方法に準じてプラグを作成し、制限酵素 Bln I で 37℃ 一晚処理した。泳動条件は電圧 6.0V/cm、パルスタイム 2.2~63.8sec、泳動時間 19h で、CHFF Mapper (BIO RAD 社) を用いて行った。泳動後、エチジウムブロマイドで染色し、切断パターンを比較した。系統樹解析は Finger-Printing II, Dice 係数により行った。

### 3 結果

#### 3.1 散発下痢症株の血清型

分与を受けた散発下痢症株 400 株のうち血清型が判明した 369 株は、61 菌種に型別された。SE が最も多く 64 株 (16%)、次いで ST40 株 (10%)、SI32 株 (8.0%) でこの 3 菌種で全体の 34.0% を占めた。SE は概ね毎年検出されたが、他は年によって検出された血清型に特徴があった。2007 年、2008 年は ST が多く、2010 年~2013 年は、これまで検出のなかった S.Rissen が多く検出された (表 1)。

#### 3.2 薬剤感受性試験

2005~2014 年散発下痢症株の薬剤耐性出現状況を表 2 に示した。散発下痢症株 400 株のうちいずれかの薬剤に耐性をもつものは 93 株で、耐性率は 23.3% であった。1 剤耐性が 60 株、2 剤耐性が 29 株、3 剤耐性が 3 株、4 剤耐性が 1 株あった。薬剤別にみると TC に耐性がある株は 69 株、ABP 耐性が 34 株、KM 耐性が 11 株、FOM 耐性が 10 株であった (表 3)。

#### 3.3 PFGE による遺伝子解析

2014 年 SE 株 13 株を制限酵素 Bln I で処理し、Dice 係数で解析した結果を示す (図 1)。解析した菌株は 2 つのグループに分けられ、75% の相同性を示した。A グループには 2014 年散発下痢症株 3 株と 2014 年 6 月発生の食中毒株 1 株が入った。B グループには食中毒関連調査株 3 株およびこれらと同時期に分離された 2014 年散発下痢症株 6 株が入り、この 9 株の相同性は 100% であった。

表 2 散発下痢症株の薬剤耐性出現状況 (2005~2014 年)

血清型	耐性株数 (%)	耐性パターン			
		1剤	2剤	3剤	4剤
Enteritidis	2 (3.1)	ABP			
Typhimurium	6 (15.0)	TC			
	1 (2.5)	ABP			
	5 (12.5)		ABP,TC		
	1 (2.5)		FOM,TC		
Infantis	10 (31.3)	TC			
	2 (6.3)	KM			
	4 (12.5)		KM,TC		
Agona	2 (20.0)	FOM			
Bareilly	7 (63.6)	FOM			
Braenderup	1 (7.7)	ABP			
Bredeney	1 (100.0)	ABP			
Hader	4 (100.0)	TC			
Heidelberg	1 (33.3)	ABP			
	1 (33.3)		ABP,TC		
Istanbul	7 (36.8)	TC			
Isangi	1 (100.0)		KM,TC		
Kottbus	1 (50.0)	ABP			
Neumuenster	1 (100.0)	TC			
Orion	1 (100.0)	NA			
Panama	1 (100.0)		ABP,TC		
Saintpaul	4 (20)	TC			
Schwarzengrund	1 (33.3)	TC			
	1 (33.3)		KM,TC		
Yovokome	1 (100.0)	TC			
O4:-	1 (100.0)				ABP,CET,TC,NA
O4i:-	2 (9.0)	ABP			
	2 (9.0)	TC			
	12 (54.5)		ABP,TC		
	1 (4.5)		ABP,KM		
	1 (4.5)			ABP,KM,TC	
	1 (33.3)	TC			
Manhattan	1 (33.3)		TC,NA		
	1 (33.3)		ABP,CET		
	1 (33.3)				
Newport	1 (50.0)	TC			
Muenchen	1 (100.0)			ABP,CET,CAZ	
Virchow	1 (11.1)	TC			
	93	60	29	3	1

表 3 散発下痢症株の薬剤別耐性株数

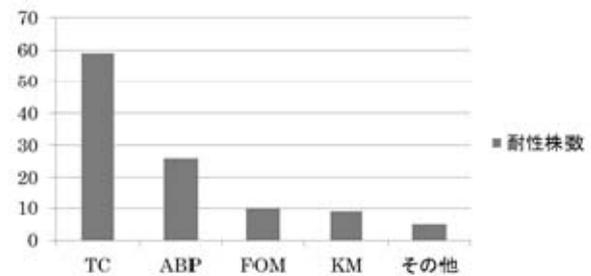


表 1 散発下痢症株の血清型別

合計	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	
Enteritidis	64	Enteritidis 12	Enteritidis 9	Typhimurium 8	Typhimurium 13	Enteritidis 14	Rissen 15	Rissen 3	Rissen 4	Rissen 8	Enteritidis 9
Typhimurium	40	Istanbul 12	Typhimurium 5	Istanbul 7	Bareilly 7	Infantis 3	Enteritidis 8	Nagoya 3	Litchfield 3	Infantis 2	Infantis 5
Infantis	32	Typhimurium 6	Infantis 4	Infantis 5	Braenderup 6	Typhimurium 2	Infantis 5	Enteritidis 3	Enteritidis 3	Enteritidis 2	Thompson 5
Rissen	31	Saintpaul 5	Agona 3	Saintpaul 4	Infantis 4	Saintpaul 2	Nagoya 3	Typhimurium 2	Infantis 2	Agona 1	Chester 5
Saintpaul	20	London 3	Saintpaul 2	Hader 4	Virchow 2	その他 6	Agona 2	Thompson 2	Saintpaul 1	Saintpaul 1	Saintpaul 3
Istanbul	19	Agona 3	Stanly 2	Bareilly 3	Carvallis 2		Thompson 2	Agona 1	Typhimurium 1	Typhimurium 1	Colindale 3
Thompson	15	Braenderup 3	Virchow 2	Montevideo 2	Kottbus 2		Braenderup 1	Saintpaul 1	Braenderup 1	Thompson 1	Typhimurium 2
Braenderup	13	Montevideo 3	Thompson 1	Thompson 2	Nagoya 2		その他 9	Braenderup 1	Thompson 1	その他 16	Singapore 2
Bareilly	11	Bareilly 1	Nagoya 1	Enteritidis 2	Enteritidis 2			Infantis 1	Nagoya 1		Manhattan 2
Nagoya	11	Infantis 1	その他 12	Braenderup 1	Saintpaul 1			その他 5	その他 8		Rissen 1
Agona	10	Thompson 1		その他 8	その他 5						Nagoya 1
その他	134	その他 13									その他 15
計	400	63	41	46	46	27	45	22	25	32	53

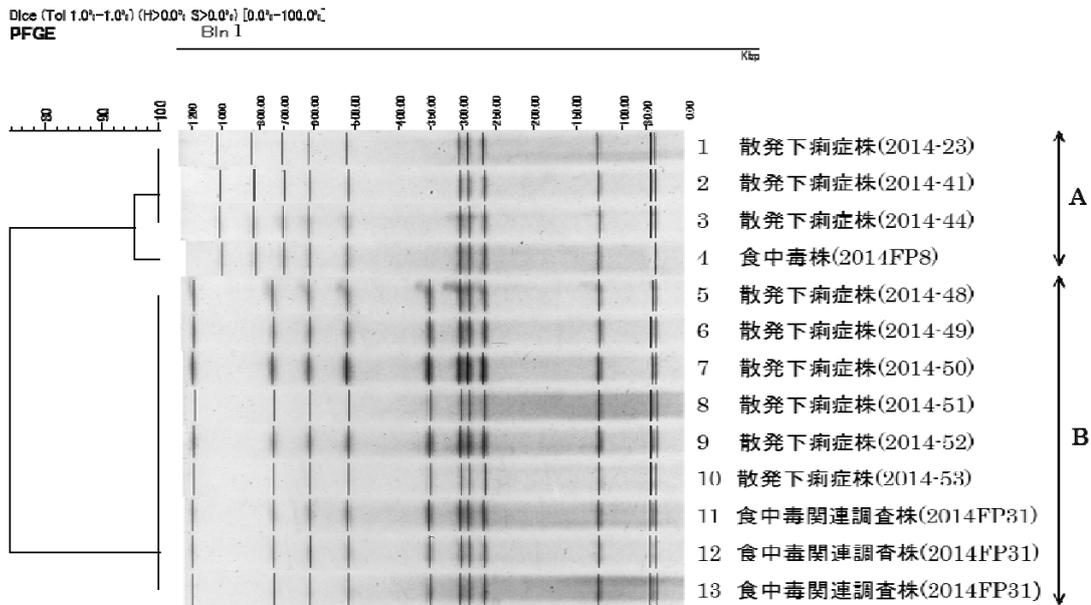


図1 *S. Enteritidis* の PFGE パターン (Bln I 処理)

### 3.4 サルモネラ汚染状況

県内の牛及び豚の盲腸内容物 402 検体から、サルモネラ属菌は検出されなかった(表4)。

表4 牛・豚盲腸内容物サルモネラ属菌汚染状況

検体	検体数	検出数(%)
牛盲腸内容物	108	0(0.0)
豚盲腸内容物	294	0(0.0)

## 4 考察

サルモネラ食中毒発生件数は減少傾向にあるが、全国的に夏期を中心に多発している。本県のサルモネラ発症例も、例年夏期に多い傾向がみられるが、冬期に発生した例もあり、季節にかかわらず発生が確認されている。本県の過去10年間の散発下痢症株はSE, ST, SIで全体の34.0%を占めている。その内訳は国立感染症研究所感染症情報センターの2005年から2014年までの全国集計と比べて、SEは32.5%であるのに対し本県は16.0%で、SEの全体に占める割合は少なかった。一方、STは全国のおよそ倍で10%、SIは全国とほぼ同じで8.0%であった。全国的なSEの検出率の低下に伴って、SE以外の血清型の分離率が高くなっている。

我々が2010年に実施した調査<sup>3)</sup>では、国産鶏肉の約30%からサルモネラが分離され、そのほとんどがSIであった。このことから、本県でもSIの原因食品の多くは鶏に関連すると推察され、農場でのサルモネラ排除が重要な食品衛生対策となると思われる。

今回、県内産の牛及び豚の盲腸内容物402検体からは、サルモネラは検出されなかった。

薬剤耐性の状況は血清型によって特徴があった。

SE3.1%, ST35%, SIは50%が耐性菌であった。これは竹田ら<sup>13)</sup>の報告60.3%, 100%, 83.3%とは大きく異なった。特に本県の状況では、サルモネラの治療薬として臨床的に有効性があると認められているABP, FOMに耐性をもつ株も分離されているので今後の動向を注視することが必要である。ニューキノロン系薬剤NFX, TFX, LVXに耐性の株はなかった。

PFGEによる遺伝子解析の結果、SEは制限酵素Bln Iで2つのグループに分けられ75%の相同性となった。Bグループの食中毒関連調査株と散発下痢症株は同時期に分離され、パルスパターンで高い相同性がみられたことから汚染源が同一であった可能性が示唆された。散発下痢症の場合は採材された地域、時期が異なるにもかかわらず、類似のパターンを示す株による感染が確認された。このことから特定の菌株が広く環境を汚染し、食品を介したdiffuse outbreakがあると示唆された。

これまでのSE対策では鶏卵、鶏卵加工品の取扱いや製品の規格基準、表示などを策定し、様々な分野で汚染の減少化に力を注いだことが食中毒防止に有効に働いている。しかし、SE以外の血清型のサルモネラについては、SEのように感染源対策が講じられていない。STやSIについては鶏に特化した施策が必要で、農場の清浄化から流通、販売、家庭での取扱いを含めた対策が必要であろう。また、今回牛及び豚のサルモネラ汚染は確認できなかったが、総合的な体系で衛生行政を推進していくことが重要と考える。

## 謝辞

菌株を分与していただいた宮城県医師会健康センターならびに牛・豚の盲腸便を採取提供いただいた宮城県食

肉衛生検査所の関係各位に感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 厚生労働省 HP (食中毒統計資料) <http://www.mhlw.go.jp/topics/syokuchu/04.html>
- 2) 小林妙子, 高橋恵美, 谷津壽郎, 齋藤紀行: 宮城県保健環境センター年報, 26, 44-47 (2008)
- 3) 渡邊節, 中居真代, 宮崎麻由, 有田富和, 那須務, 沖村容子: 宮城県保健環境センター年報, 29, 46-49 (2011)
- 4) Original Article : N Engl J Med, 341, 1420-1425 (1999)
- 5) 厚生労働省医薬食品局食品安全部監視安全課長通知 “平成 22 年度食品の食中毒菌汚染実態調査について” 平成 23 年 3 月 30 日, 食安監発 0330 第 1 号 (2011)
- 6) 久高潤, 近藤海和, 嘉数浩, 中村正治, 平良勝也, 糸数清正, 安里龍二: 沖縄県衛生環境研究所年報, 40, 65-70 (2006)
- 7) 中嶋洋, 狩屋英明, 大島律子, 国富泰二: 岡山県環境保健センター年報, 28, 63-67 (2004)
- 8) 永田暁洋, 山崎史子, 石畝史, 大村勝彦: 福井県衛生環境研究センター年報, 10, 128 (2011)
- 9) 大饗英章, 岡田和子, 芝美和, 田中博: 愛媛県食肉衛生検査センター平成調査研究報告(2002), 平成 14 年度日本獣医公衆衛生学会講演要旨集
- 10) 森田幸雄, 壁谷英則, 石岡大成, 阪脇廣美, 長井章, 鈴木宣夫他: 日本獣医師会雑誌 57, 393-397(2004)
- 11) 仁和岳史, 高馬洋之, 岡田峰幸, 武田憲生, 朝原幸穂, 小野寺功, 西阪めぐみ, 岡野肇: 千葉県東総食肉衛生検査所調査研究報告(2010)
- 12) 小野聡美, 吉岡幸信, 小野寺瑞穂, 齋藤直: 宮城県食肉衛生検査所調査研究報告(2008)
- 13) 竹田義弘, 東久保靖, 小川博美: 広島県保健環境センター研究報告, 10, 19-27 (2002)
- 14) 松島桂子, 中居真代, 宮崎麻由, 有田富和, 那須務, 小林妙子, 渡邊節, 佐藤俊郎: 宮城県保健環境センター年報, 31, 23-26 (2013)

# STQ 法による残留農薬分析のための試料前処理法の検討

## Examination of sample preprocessing method for pesticide residue analysis by STQ method

千葉 美子 瀧澤 裕 大内 亜沙子 高橋 美保

Yoshiko CHIBA, Yu TAKIZAWA, Asako OUCHI, Miho TAKAHASHI

各種果実類を対象として、STQ 法による残留農薬分析のための試料前処理法について検討した。凍結粉砕法は、従来から実施しているミキサー法に比べ、果実の種類に関係なく一様な粉砕・均一化が可能であった。また、前処理後の試料について粒度分布を測定した結果、凍結粉砕法では一部の果実を除き果実間差はほとんど認められなかった。さらに、凍結粉砕法による試料前処理のメリットとして、コンタミネーションの防止、抽出時間の短縮及び効率化などの効果が挙げられ、同法の有効性が示された。

キーワード：凍結粉砕；粒度分布；STQ

Key words：Freeze grinding；Particle size distribution；STQ

### 1 はじめに

食品中に残留する農薬等の分析において、正確な検査結果を得るためには、試料の調製方法も重要なポイントとなる。厚生労働省公定試験法の告示法でも、検体の試験部位に対する前処理が細かく規定されているが、特に注意すべき点としては、分析に用いる分取試料が試料全体を反映するように農作物を均一化して、調製・分取する必要性が挙げられる。

これまで当所では、前処理にフードプロセッサーもしくはジューサーミキサーを使用して細切及び均一化を行ってきたが、果実や一部の野菜類など水分含量の多い作物では、均一化後、短時間で水分と固形分に分離するため、試料の分取に苦慮していた。また、外皮が厚く硬い農作物では一部の皮が粉砕されずに残るなど十分な均一化が困難となり、その都度個別に対応せざるを得ない状況であった。

このような状況の中、当所では、「食品中に残留する農薬等に関する試験法の妥当性評価」を実施するに当たり、株式会社アイスティサイエンスが開発した STQ 法：Solid Phase Extraction Technique With QuEChERS method を検討し、同法に定容操作を加えた STQ 法の改良法（以下 STQ 法）の導入を決定した。

そこで、STQ 法に適した前処理方法を検討する目的で、従前から実施していたジューサーミキサー法（以下ミキサー法）と QuEChERS 法（AOAC Official Method 2007.01：AOAC 法や European Committee for Standardization Standard Method EN 15662：CEN 法としても採用）が推奨している凍結状態で試料を均一化する予冷式ドライアイス凍結粉砕法（以下凍結粉砕法）により得られた試料を比較し、STQ 法による残留農薬分析のための有効性について検討したので報告する。

### 2 方法

#### 2.1 検体

表 1 の第 1 欄に掲げる果実のうち、県内の青果店で購入することができた 16 品目の果実類（赤字）を対象に、それぞれ同表の第 2 欄に掲げる処理を行ったものを検体とした。

#### 2.2 使用機器

ジューサーミキサー：パナソニック株式会社製

ナショナルミキサーMX-V100

粉砕器：株式会社エフ・エム・アイ製

ロボクーブブリクサーBLIXER-3D

精密電子天秤：ザルトリウス・ジャパン株式会社

CP224S

粒度分布測定器：株式会社セイシン企業製

Laser Micron Sizer LMS-2000e

（宮城県産業技術総合センターの備品を借用）

電気定温乾燥器：ヤマト科学株式会社製 DK-42

#### 2.3 使用器材

CELLSTAR50ml 容 PP 製チューブ：

株式会社グライナー・ジャパン製

アルミカップ No.12：アズボン株式会社製

#### 2.4 細切均一化

それぞれの果実について、表 1 に示した処理を施した検体を四分法によりミキサー法用と凍結粉砕法用に取り分けた。

ミキサー法は、取り分けた検体を粗く細切した後、ジューサーミキサーを用いてホモジナイズした。ホモジナイズ処理の時間は果実により異なり、ミキサーの攪拌により試料の流動が認められ、目視により試料が均一化されたと判断できるまで行った。

凍結粉砕法は、取り分けた検体を細切した後、予めドライアイスと共に和えて予冷し、十分に冷却しておいた

表 1 対象果実一覧

	第 1 欄	第 2 欄
核果果実	あんず、うめ、おうとう、ずもも及びネクタリン もも	果核及び種子を除去したもの 果皮及び種子を除去したもの
かんきつ類果実	オレンジ、グレープフルーツ、なつみかんの果実全体、タイム及びレモン	果実全体
	なつみかん及びみかん	外果皮を除去したもの
	なつみかんの外果皮	へたを除去したもの
	上記以外のかんきつ類果実	果実全体
仁果果実	西洋なし、日本なし、マルメロ及びびりんご	花おち、しん及び果核の基部を除去したもの
	びわ	果核、果皮及び種子を除去したもの
熱帯産果実	アボカド、マンゴー	種子を除去したもの
	キウイ	果皮を除去したもの
	グアバ	へたを除去したもの
	なつめやし	へた及び種子を除去したもの
	パイナップル	冠芽を除去したもの
	パッションフルーツ及びパイヤ	果実全体
ベリー類果実	バナナ	花柄部を除去したもの
	いちご、グランベリー、ハックルベリー、ブラックベリー及びブルーベリー	へたを除去したもの
	ラズベリー	果実全体
	上記以外ベリー類果実	へたを除去したもの
かき		へた及び種子を除去したもの
すいか、まくわうり及びびろん類果実(マスキメロン)		果皮を除去したもの
ぶどう		果核を除去したもの
上記以外の果実(さくら、スターフルーツ、ドリアン)		可食部



図 1 レモン



図 2 みかん

粉碎容器を用いて、ドライアイスと共に検体が均一になるまで粉碎した。

### 2.5 水分定量

各処理法により均一化した試料をそれぞれアルミカップに 10g ずつ 3 併行で精秤し、水分定量用試料とした。

果実類の水分定量は、通常、減圧・乾燥助剤添加法(70℃)で測定することとなっているが、現有機器の状況から今回の試験は常圧加熱乾燥法(100℃)とした。

また、減量が続いた試料については、加熱による分解のためと推測されたため、減量幅が 10~25mg となった時点を目安にして前後の値を参照し、恒量とした。

### 2.6 粒度分布測定

水分定量と同様に、それぞれ 5g ずつ 3 併行で 50ml 容 PP 製チューブに精秤した試料に、精製水を加えて 10 倍希釈し、粒度分布測定用試料とした。

なお、試料は十分に転倒混和した後、測定装置に適正量追加し測定した。



図 3 りんご



図 4 アボカド

## 3 結果及び考察

### 3.1 試料の均一化状態

各処理法による試料の均一化状態のうち、代表的な果実を図 1 から図 11 に示す。図の配置は、いずれも左がミキサー法、右が凍結粉碎法となっている。

レモンについて、ミキサー法では試料中に表皮や種子の一部が粉碎されず粒状となって残っている(図 1 参照)。

みかんについて、ミキサー法では短時間の放置で水分が下層に分離した。また、じょうのう膜及びさのうの一部が粉碎されずに浮遊している(図 2 参照)。

りんごについて、ミキサー法では短時間の放置で酸化し変色した。また、表皮の一部が粉碎されずに残っている(図 3 参照)。

アボカドについて、ミキサー法では硬い外皮の一部が粉碎されずに残っており、さらに水分量が少なく脂質量が多い試料のため、攪拌も容易ではなく均一性に問題があった。凍結粉碎法では、外皮も含めすべて細かく粉碎



図 5 パイナップル



図 6 パパイア

され均一な粉状となっている(図 4 参照)。

パイナップルについて、ミキサー法では外皮や果肉芯



図7 バナナ



図8 ブルーベリー



図9 マスクメロン



図10 さくら



図11 ドリアン

部分の繊維が粉碎されずに残っており、試料の均一性が保たれていなかった。凍結粉碎法では、一部外皮の混在も認められるが様に分布しており、すべて細かく粉碎され均一な粉状となっている(図5参照)。

パパイヤについて、ミキサー法では皮は均一に粉碎できているが、一部の黒い種が粉碎されずに不均一に分布している(図6参照)。

バナナについて、ミキサー法では短時間の放置で酸化し変色した。また、表皮の一部が粉碎されずに不均一に残っている(図7参照)。

ブルーベリーについて、ミキサー法では粉碎できなかった皮と種が混在している(図8参照)。

マスクメロンについて、ミキサー法では瞬く間に試料が水分と果肉部分に分離した。凍結粉碎法では、水分を含んだ試料も粉状で均一に粉碎されていた(図9参照)。

さくらについて、ミキサー法では粉碎できなかった種子が大きさも不揃いで不均一に分布している。凍結粉碎法では、白い種子の混在が確認できるが大きさも分布状態も同様である(図10参照)。

ドリアンについて、ミキサー法ではクリームチーズ様の試料となり、粘性が高いため均一化されているか懸念された。凍結粉碎法では、試料の粘性や水分は全く問題なく、さらさらのパウダー状のものが得られた(図11参照)。

### 3.2 水分量の比較

各法における水分定量の結果を表2に示した。

前処理にミキサー法及び凍結粉碎法を用いた水分量を比較すると、バナナ、マスクメロン、ドリアンを除く果実ではほぼ同等の値を示し、すべての果実において3併行間のバラツキも非常に小さい値であった。これは、特にミキサー法による試料を分取する際にミキサーカップから直接分取せず、一旦ビーカーに小分けした後、良く攪拌しながら分取したため、均一なサンプリングができたと思われる。

また、凍結粉碎法では、粉碎後の試料がさらさらの粉末状で均一になっており簡便なサンプリングが可能であった。

一方、2法間の平均で有意差(P<0.01)が認められた果実は、パイナップル、パパイヤ、バナナ、かき、マスクメロン、ドリアンで、特に差が大きかったバナナ、マスクメロン、ドリアンの3品目では、凍結粉碎法で得た水分定量値の方が食品成分表による水分量と近い値となった。バナナは皮ごと、マスクメロンは果皮を除去、ドリアンは可食部とそれぞれ検体としての取扱いは異なる

表2 各法における水分定量結果

対象果実	ミキサー法 (n=3)	凍結粉碎法 (n=3)	食品成分表による水分量
レモン	89.68 ± 0.14%	89.13 ± 0.35%	85.3 g
みかん	90.30 ± 0.05%	90.61 ± 0.11%	86.9 g
りんご	83.29 ± 0.05%	83.71 ± 0.04%	84.9 g
アボカド	73.75 ± 0.18%	74.50 ± 0.07%	71.3 g
マンゴー	83.87 ± 0.14%	84.92 ± 0.05%	82.0 g
パイナップル*	85.83 ± 0.09%	85.04 ± 0.02%	85.5 g
パパイヤ*	87.03 ± 0.08%	87.41 ± 0.07%	89.2 g
バナナ*	83.61 ± 0.21%	79.91 ± 0.20%	75.4 g
いちご	89.51 ± 0.24%	89.42 ± 0.02%	90.0 g
ブルーベリー	85.69 ± 0.12%	84.76 ± 0.11%	86.4 g
かき*	83.98 ± 0.04%	84.70 ± 0.12%	83.1 g
マスクメロン*	96.15 ± 0.10%	89.08 ± 0.03%	87.8 g
ぶどう	81.39 ± 0.05%	81.68 ± 0.01%	83.5 g
さくら	78.60 ± 0.15%	79.39 ± 0.20%	83.9 g
スターフルーツ	92.43 ± 0.12%	92.12 ± 0.01%	91.4 g
ドリアン*	62.21 ± 0.29%	65.46 ± 0.17%	66.0 g

\*は平均値に有意差(P<0.01)が認められた果実

ものであったが、バナナはでんぷん質が多くもちり感を有しているため、粘度が高く攪拌されにくい。また、マスクメロンは果肉が柔らかく、ミキサーで容易に攪拌されるが、試料分取に駒込ピペットを使用したため、粉碎された果肉より水溶性成分を多く量りとした可能性が高い。ドリアンについては、他の果実に比べて炭水化物と脂質が多くクリーミーなため、ミキサー法による均一化でのサンプリングは特に困難であった。

### 3.3 粒度分布の比較

分散媒を水に、粒子屈折率を 1.576、スターラーの回転数 1,995rpm、超音波なしに設定し、粒子径範囲 0.02 ~ 2000  $\mu\text{m}$  の粒度分布を測定した。測定は 1 検体につき 3 回自動測定を行い、その平均をとる操作を 1 試料 3 検体分繰り返した。代表的な果実の粒度分布のチャートを図 12 から図 18 に示す。図の配置は、いずれも左がミキサー法、右が凍結粉碎法となっている。

両法の前処理によるかきの粒度分布は図 12 のようになり、他にレモン、りんご、スターフルーツ、ざくろも同様の分布を示した。また、いちご (図 13 参照) と同様の分布を示した他の果実として、みかん、マスクメロン、ぶどうがあった。

ミキサー法による前処理では、一部の果実で類似性の高い粒度分布が見られたが、特に皮や種子の一部が混在している試料において、様々なパターンを示したうえ試料間のバラツキも大きかった。一方、凍結粉碎法は、ドリアンを除きほぼ様な分布パターンとなった。

そこで、これらの分布データについて統計処理を行うため、得られた粒度分布の正規性の検定を行った。シャピロ=ウィルク検定の結果から、すべての粒度分布で正規性が棄却され、非正規分布であることを確認したため、以降の検定はノンパラメトリック検定を実施することとした。

各果実の前処理 2 法間の分布を比較するため、2 標本の位置だけでなく、分布の形にも違いがあるかどうか合わせて検出可能な 2 標本コルモゴロフ=スミルノフ検定を行った。有意水準 0.01 で有意な差を示した果実は、レモン、りんご、いちご、スターフルーツ、アボカド、マンゴー、ブルーベリーの 7 品目であり、P 値が 0.9 以上となったものは、みかん、マスクメロン、パパイヤであった。

次に、クラスカル=ウォリス検定により、ミキサー法で処理した 16 果実と凍結粉碎法で処理した 16 果実の平均順位の値をそれぞれ比較した。ミキサー法では、P 値は 0.0133 で  $P < 0.05$  となり有意の差が認められたため、Steel-Dwass 法による多重比較を行った。P 値が  $< 0.01$  となった組み合わせは、りんご-アボカド、P 値が  $< 0.05$  となった組み合わせは、いちご-アボカド、ざくろ-アボカド、スターフルーツ-アボカドであった。

一方、凍結粉碎法での P 値は 0.9610 であり、有意の差は認められなかった。また、この P 値は、ミキサー法

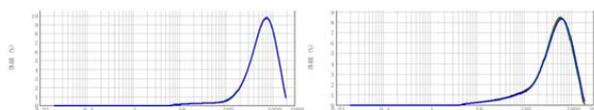


図 12 かきの粒度分布

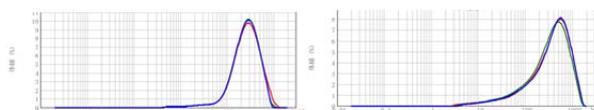


図 13 いちごの粒度分布

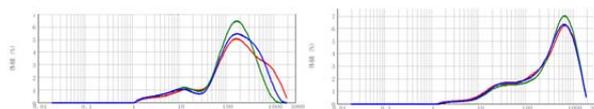


図 14 アボカドの粒度分布

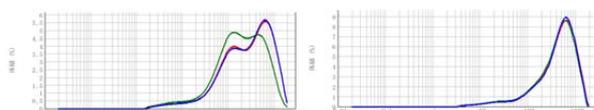


図 15 マンゴーの粒度分布

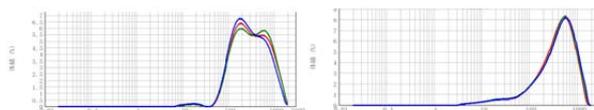


図 16 パイナップルの粒度分布

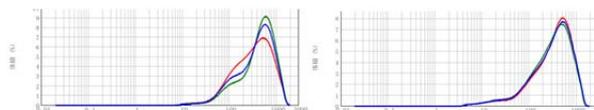


図 17 パパイヤの粒度分布

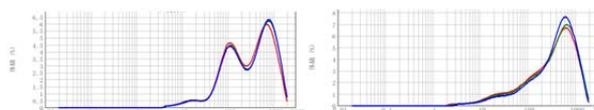


図 18 バナナの粒度分布

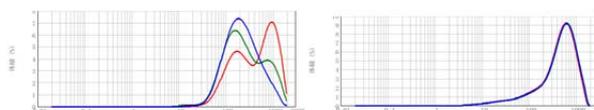


図 19 ブルーベリーの粒度分布

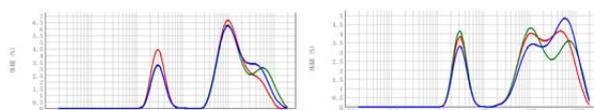


図 20 ドリアンの粒度分布

のアボカドを除いた 15 果実から求めた P 値 0.2400 よりはるかに大きな値であった。

以上の結果から、果実の種類に左右されることなく、均一な試料を得るための前処理には、凍結粉碎法が適していると考えられる。

次に、この粒度分布を果実ごとに3試料の平均値を求め、積算粒子量として表したグラフを図21から図24に示す。粒度分布がミキサー法で同様のパターンを示した果実類における相対粒子量のd50(メジアン径)は、271(いちご)~781(レモン) μm、様々な分布パターンを示した果実類では、明らかにパターンの異なるドリアンを除

き160(アボカド)~426(パパイヤ) μmであった。一方、凍結粉砕法ではそれぞれ365(ぶどう)~485(ざくろ) μm, 373(パパイヤ)~504(ブルーベリー) μmとなり、ミキサー法に比べて凍結粉砕法におけるd50の果物間格差は小さく、一様に均一化されていると考えられる。

#### 4 まとめ

食品中に残留する農薬等の分析において、重要なポイントとなる試料の粉砕均一化を検討した。

凍結粉砕法は、果実類の種類を問わず一様に均一化でき、硬い果皮や種子も残らず粉砕することができた。

また、凍結粉砕を行った場合、ジェネレーターによるホモジナイズが不要となり、シャフトの使い回しによるコンタミネーション防止や抽出時間の短縮を図ることができる。

以上の結果から、QuEChERS法をベースにしたSTQ法には、従来から当所で実施していたミキサー法より凍結粉砕法が有用であることが確認された。

#### 5 謝辞

本研究の実施にあたりご協力いただきました、宮城県産業技術総合センター四戸大希技師に感謝いたします。

本研究は、平成26年度一般財団法人日本公衆衛生協会特別研究助成金により実施しました。

#### 参考文献

- 1) 永井雄太郎: QuEChERSを見直してみよう, 日本農薬学会誌, 37(4), 362-371(2012)
- 2) Michelangelo, A. et al.: Fast and Easy Multiresidue Method Employing Acetonitrile Extraction/Partitioning and “Dispersible Solid-Phase Extraction” for the Determination of Pesticide Residues. J. AOAC Int., 86, 412-431(2003).
- 3) Steven J. Lehotay: Determination of Pesticide Residues in Foods by Acetonitrile Extraction and Partitioning with Magnesium Sulfate: Collaborative Study J. AOAC Int., 90, 485-520(2007).
- 4) BRITISH STANDARD BS EN 15662:2008 Foods of plant origin Determination of pesticide residues using GC-MS and/or LC-MS/MS following acetonitrile extraction/partitioning and clean-up by dispersive SPE-QuEChERS-method

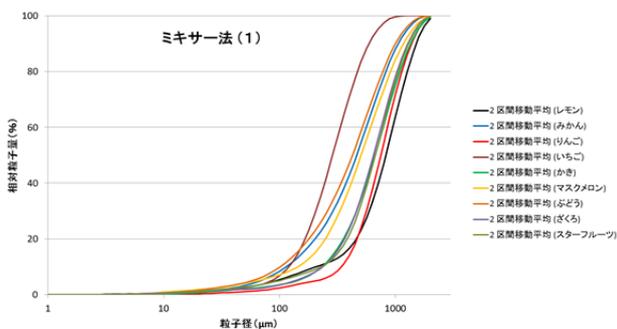


図21 ミキサー法で処理した試料の相対粒子量(1)

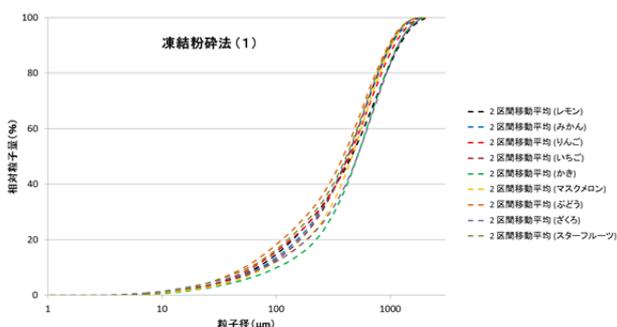


図22 凍結粉砕法で処理した試料の相対粒子量(1)

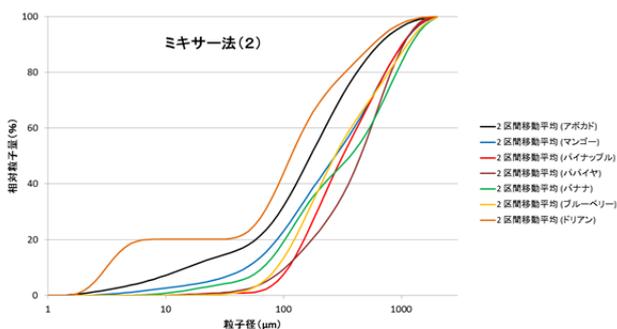


図23 ミキサー法で処理した試料の相対粒子量(2)

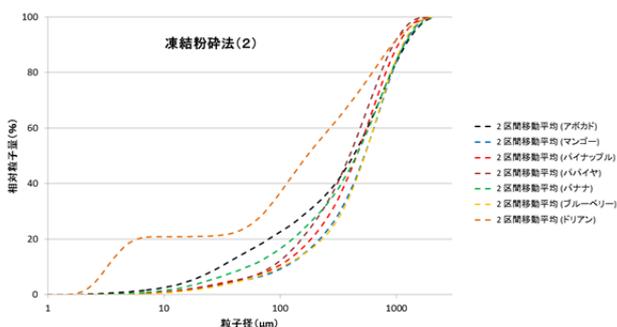


図24 ミキサー法で処理した試料の相対粒子量(2)

# 新幹線鉄道のトンネル周辺における低周波音調査

## Study on Low-frequency Sound around Tunnel in the Shinkansen Railway

島影 裕徳 菊地 英男 安藤 孝志

Hironori SHIMAKAGE, Hideo KIKUCHI, Takashi ANDO

新幹線鉄道がトンネルに突入する際に発生する低周波音については、苦情が申し立てられるケースが散見される一方で、東日本旅客鉄道においては新型車両 E5, E6 を投入し、営業速度を段階的に引き上げ、最高速度 320km/h の運転を実施している。今回、宮城県内における新幹線がトンネルに突入する際に発生する低周波音について調査を実施したところ、低周波音に係る音圧レベルは、先頭車両が新型車両の方が旧型車両よりも低くなる一方、速度上昇に伴い音圧レベルが増加した。またトンネル長が長くなるにつれて低周波音が上昇する傾向がある一方で、緩衝工による低周波音対策を実施している地点においては、低周波音の音圧レベルが小さくなる傾向にあった。

キーワード：新幹線鉄道；低周波音

**Key words** : shinkansen railway ; low-frequency sound

### 1 はじめに

低周波音は室内の建具を揺らす、窓をがたつかせるといった、物的影響を起こす一方、心身に係る影響を引き起こす場合がある。新幹線がトンネルに突入する際にも低周波音は発生し、苦情が申し立てられるケースが散見される。一方で、東日本旅客鉄道においては平成 22 年 3 月から新型車両 E5 を、平成 25 年 3 月から E6 を投入し、営業速度を段階的に引き上げ、平成 26 年 4 月現在最高速度 320km/h の運行を実施している。

このため宮城県内におけるトンネル周辺において、新幹線がトンネルに突入する際に発生する低周波音の実態を、新旧車両の違いや速度の違い、トンネル長等に焦点をあて調査した。

### 2 方法

#### 2.1 調査地点

宮城県内の新幹線鉄道に係るトンネルの設置状況を把握及び調査対象地点を選定するため、県内全てのトンネルを机上調査した上で、可能な限り現地確認を行った。県内における新幹線鉄道に係るトンネルの設置状況を表 1 に示す。トンネル数は 57 本で、緩衝工については、比較的長さのあるトンネルで、かつ一定程度の住宅が立地する箇所では緩衝工設置による対策が取られている状況であった。

調査地点の状況について表 2 に示す。調査地点の選定については、立ち入りや測定が困難な場所、暗騒音が高い場所を除外した上で、ある程度の比較を容易にするためトンネル端から 100m 前後での測定地点がとれる場所を目的別に選定した。

表 1 宮城県内における新幹線鉄道トンネル設置状況

トンネル数	57	
緩衝工数※1	27	
距離別トンネル数・緩衝工数	トンネル数	緩衝工数
0~100m	11	1
101~250m	13	4
251m~500m	11	1
501m~750m	6	3
751m~1000m	1	2
1001m~	15	16

※1 蔵王トンネル入口(福島県)及び第2有壁トンネル出口(岩手県)を含む  
 ※2 トンネル長については、地図等により推計したものである。

表 2 調査地点の状況

測定日	トンネル名	入口・出口別	トンネルの長さ(m)※1	緩衝工の対策の状況※2	トンネル端から測定地点までの距離(m)	測定目的
H25.6.25	大又	入口	2412	無	114	低周波音の測定 (緩衝工対策無トンネル)
H25.7.10	第2柏木原	出口	442	無	106	低周波音の測定 (緩衝工対策無トンネル)
H25.8.7	第2葉坂	出口	1473	無	137	低周波音の測定 (緩衝工対策無トンネル)
	愛宕山	入口	2332	無	84	低周波音の測定 (緩衝工対策無トンネル)
H25.9.11	第2白石	出口	3720	有	380	低周波音の測定 (緩衝工対策有トンネル)
	第3白石	入口	689	無	65	低周波音の測定 (緩衝工対策無トンネル)
H26.5.19	第2葉坂	出口	1473	無	137	低周波音の測定 (緩衝工対策無トンネル) 測定本数追加
	愛宕山	入口	2332	無	84	低周波音の測定 (緩衝工対策無トンネル) 測定本数追加
H26.6.20	第1有壁	出口	1632	有	96	低周波音の測定 (緩衝工対策有トンネル)
H26.7.15	第1有壁	入口	1632	有	151	低周波音の測定 (緩衝工対策有トンネル)
H26.9.4	大又	入口	2412	無	70 .140 .280	低周波音の 距離減衰の確認

※1 トンネル長については地図等により推定したものである。  
 ※2 ここでの有りは測定地点のトンネルの反対側の端に緩衝工があることを示す。  
 ※3 H25.8.7とH26.5.19の第2葉坂トンネル、愛宕山トンネルの測定地点は同一地点である。  
 ※4 H26.9.4の大又トンネルの測定地点について、いずれもトンネル端からの距離が異なる。

#### 2.2 騒音レベル、列車速度、気象状況の測定

地上 1.2m の地点に騒音計 (リオン製 NL-21) のマイクロホンを設置した。ピストンホンで正常な動作を確認した上で測定を実施した。測定中の暗騒音等の影響を確認するためにレベルレコーダを使用し常に監視し、妨害音の影響を受けなかった列車を測定した。列車速度は、ストップウォッチを用い、通過時間を測定することにより算出した。騒音評価値及び平均列車速度は、「新幹線鉄道騒音測定・

評価マニュアル（平成22年5月）を参考に算出しているが、各20本以上測定していることから、20本の列車の組み合わせを測定開始列車から順に1データずつ変化させ、全ての組み合わせを求めた上で、その算術平均を評価値とした。

気象状況の計測については、Tr式微風速計（リオン製AM-09T）、ピラム式風向風速計（安藤計器製工所製No.6-27S2（針式））を用い、新幹線通過毎に風向・風速・気温の測定を行った。

2.3 低周波音の測定・周波数分析

地上1.2mの地点に低周波音レベル計（リオン製NA-17、リオン製XN-94）を設置した。ピストンホン（リオン製NC-72）で正常な動作を確認した上で、平坦な周波数特性（SPL）によりデータレコーダ（リオン製DA-20）に収録した。なお、測定中における風雑音等の影響を確認するためにレベルレコーダ（リオン製LR-07）を使用し、風雑音等の影響を受けなかった車両を評価した。また、試験車両・回送車両は除外し、通常営業運転を行っている車両のみを評価対象とした。

周波数分析装置（リオン製SA-02A4）を用いて、データレコーダに録音したデータについて、列車がトンネルに突入する際に発生する低周波音を立ち上がりから3秒間について、0.1秒毎に周波数分析を行い、1/3オクターブバンドの各周波数帯の最大値並びにその1~80Hzの周波数帯のオーバーオール値（以下「OA(1~80Hz)音圧レベル」という。）を求めた。

て環境基準値を超過していた。また、全ての地点で70dBを超過していた。今回の測定地点は、山林・農地が主で、防音壁が無い、地面から軌道までの高さが低いところが多い等のことから、新幹線鉄道騒音振動の常時監視地点と比較して大きい値を示している。

3.2 各測定地点における低周波音レベル

新幹線が突入する際に発生する低周波音の測定例について図1に示す。新幹線がトンネルに突入する際に圧力波（鉄道関係においてはトンネル微気圧波とも呼ばれる。）が発生し、トンネル端から測定地点まで伝搬し、低周波音レベル計により低周波音を観測する。その後、新幹線車両が測定地点前を通過する時に、騒音計において最大騒音レベルを観測し、低周波音レベル計においては、通過時における低周波音を観測する。今回は、新幹線がトンネルに突入する際に発生する低周波音を測定した。OA(1~80Hz)音圧レベルと速度との関係を図2-1~2-8に示す。

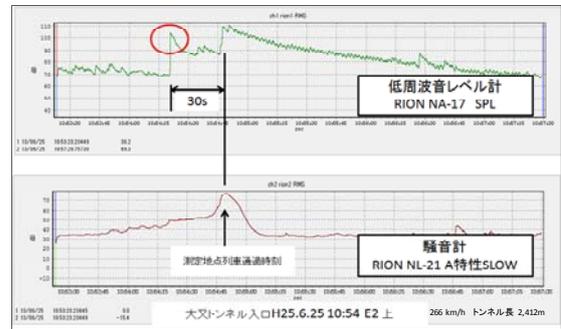


図1 新幹線車両がトンネルに突入する際に発生する低周波音の測定例

3 結果・考察

3.1 騒音と列車速度

各測定地点における騒音測定結果及び列車速度を表3に示す。環境基準が設定されている測定地点については、全

表3 各地点における騒音レベル及び速度

地点番号	測定日	測定場所 (住所)	地域類型	軌道中心から測定地点までの距離 (m)	騒音評価値 L <sub>A, Smax</sub> (dB)	平均列車速度 (km/h)	土木構造物の種類	防音壁有無	特記事項
1	H25. 6. 25	栗原市若柳有賀新山付近 (第3有賀・大又トンネル)	無指定	27	79	268	盛土	有	一部の区間防音壁無
2	H25. 7. 10	大郷町大末沢一ノ沢付近 (第2柏木原・第3柏木原トンネル)	II 類型	37	77	283	高架橋	有	
3	H25. 8. 7	柴田町入間田付近 (第2葉坂・愛宕山トンネル)	無指定	25	80	263	高架橋	有	一部の区間防音壁無
4	H25. 9. 11	白石市白川内親付近 (第2白石・第3白石トンネル)	I 類型	30	82	268	未確認	未確認	測定地点が軌道より上部に位置
5	H26. 5. 19	柴田町入間田付近 (第2葉坂・愛宕山トンネル)	無指定	25	83	274	高架橋	有	一部の区間防音壁無
6	H26. 6. 20	栗原市金成有壁付近 (第1有壁トンネル)	I 類型	39	79	287	盛土	無	
7	H26. 7. 15	栗原市金成末野 (第1有壁トンネル)	I 類型	80	73	297	高架橋	有	
8	H26. 9. 4	栗原市若柳有賀新山付近 (第3有賀・大又トンネル)	無指定	23	83	306	盛土	有	一部の区間防音壁無

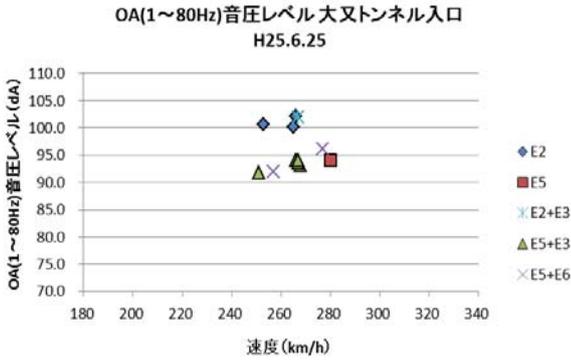


図 2-1 大又トンネル入り口上り 緩衝工対策無し

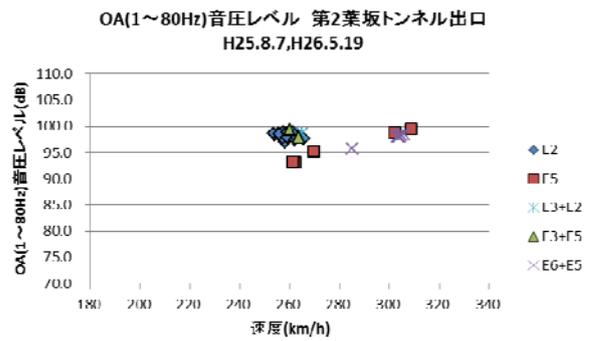


図 2-5 第2葉坂トンネル出口下り 緩衝工対策無し

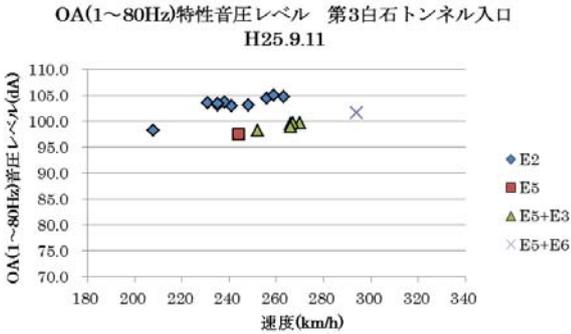


図 2-2 第3白石トンネル入口上り 緩衝工対策無し

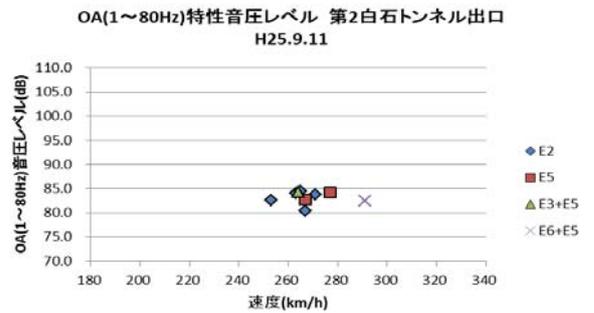


図 2-6 第2白石トンネル出口下り 緩衝工対策有り

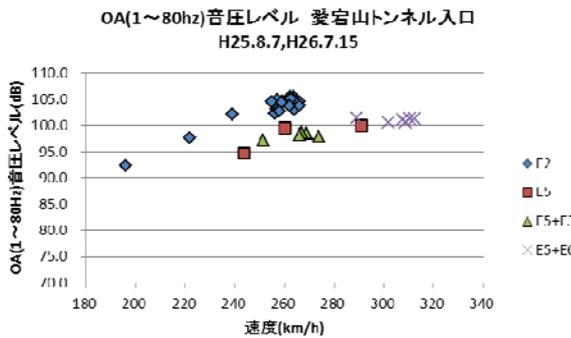


図 2-3 愛宕山トンネル入口上り 緩衝工対策無し

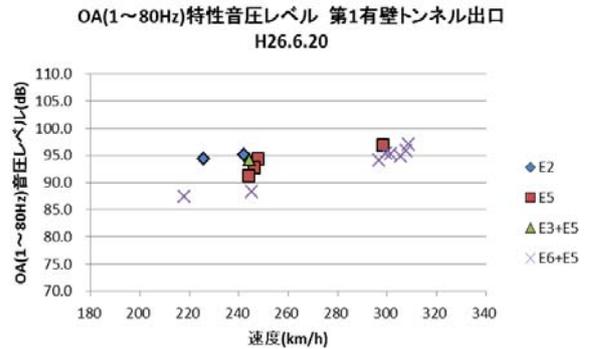
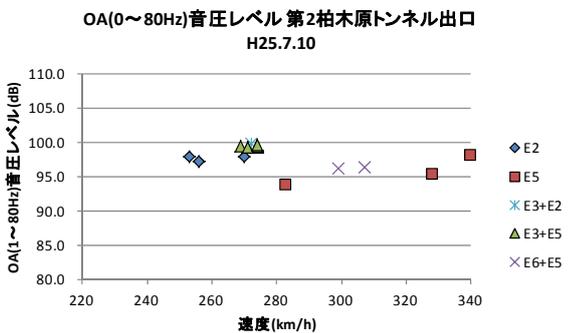


図 2-7 第1有壁トンネル出口下り 緩衝工対策有り



※時速320km/hを超えて算出されているものもあるがそのまま記載している。

図 2-4 第3柏木原トンネル出口下り 緩衝工対策無し

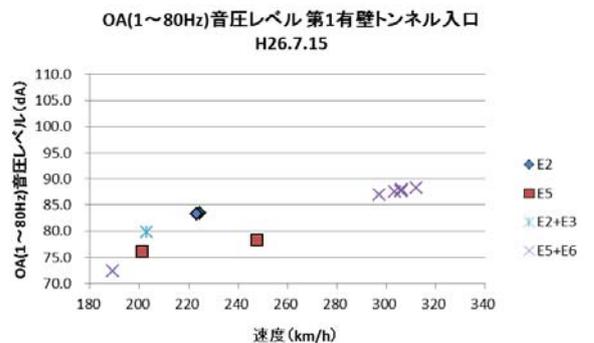


図 2-8 第1有壁トンネル入口上り 緩衝工対策有り

OA(1~80Hz)音圧レベルにおいては、多くの測定地点、車両形式において、速度が上昇する毎に、音圧レベルが上昇する傾向にあった。

緩衝工対策の無い地点においては、音圧レベルを新型車両である E5 と旧型車両である E2 を同じ速度で比較すると、E5 の方が低い音圧レベルを示す傾向にあり、第3白

石トンネル入口や愛宕山トンネル入口、第2葉坂トンネル出口ではその差は同じ速度でおおよそ5dB程度であった。また同じ音圧レベルで速度を比較すると、E5の方が速く、その速度の差はおおよそ20~30km/h程度であった。また併結車両の上りにおいては、先頭車両が両方も新型車両である上り車両E5+E3、E5+E6との音圧レベルの比較では、ほぼ同じ傾向を示す一方で、先頭が新型車両であるE5+E3、E5+E6と先頭が旧型車両であるE2+E3との比較では先頭が新型車両の方が音圧レベルが低い傾向を示した。同様に併結車両の下りにおいても先頭が同じ旧型車両であるE3+E2とE3+E5の比較においては、音圧レベルは同じ傾向を示す一方で、先頭車両が旧型車両のE3+E2、E3+E5と先頭車両が新型車両であるE6+E5を比較すると、音圧レベルは先頭車両が新型の方が小さくなる傾向にあった。

緩衝工の対策のある地点においては、上記のような傾向はあるものの緩衝工対策のない地点と比較して、先頭車両の新型・旧型車両の違いについて差は小さかった。

3.3 各周波数帯の音圧レベル

緩衝工対策の有無の例として、H25.6.25に測定した大又トンネル入口（無）と第1有壁トンネル出口（有）における1/3オクターブ分析結果を図3-1及び図3-2に示す。今回測定した全地点の周波数分析結果においては、1.6Hz~8.0Hzの周波数範囲に最大音圧レベルがみられ、2.5Hz~4.0Hzに多く現れる傾向があった。緩衝工の対策の無い測定地点においては、多くの場合、先頭車両が新型の車両(E5,E6)は旧型の車両(E2,E3)と比較して、3.15Hz~16Hzの前後の周波数の音圧レベルが低い傾向にあった。しかし先頭が新型車両でも速度が大きい場合は、先頭が旧型車両よりも音圧レベルの大きい車両も見られた(図3-2の音圧レベルの高いE5,E6+E5の車両は比較的速度が大きい車両)。これは新型車両による音圧レベルを減少させる効果よりも、速度上昇による音圧レベルの増加が上回ったものと思われる。

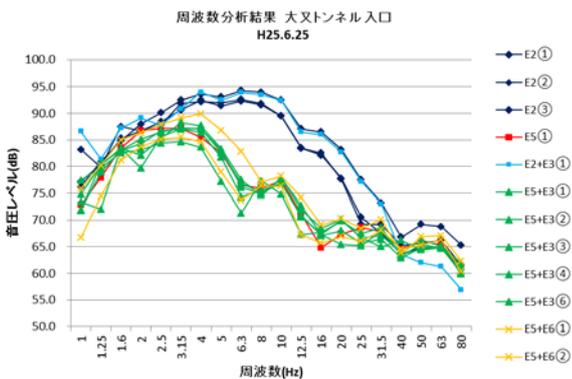


図3-1 大又トンネル入口上り 緩衝工対策無し

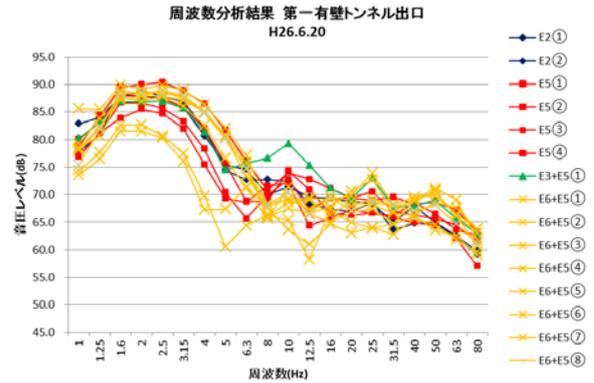


図3-2 第1有壁トンネル出口下り 緩衝工対策有り

3.4 低周波音の距離減衰

大又トンネルにおける低周波音の距離減衰結果を表4に示す。低周波音の距離減衰を確認するため、緩衝工の対策がなされていない、大又トンネル入口側で、トンネル端から70m, 140m, 280m地点において低周波音を同時に測定したものである。OA(1~80Hz)音圧レベルの距離減衰については、70-140mの範囲では4.3dB~5.3dB, 140~280mの範囲では6.6~7.2dBと減衰幅が異なっていたが、70-280mの範囲では11.2dB~12.2dBと、一般的に言われている倍距離で6dB<sup>2)</sup>に近い減衰を示した。両側が山に囲まれた複雑な地形のため単純な距離減衰を示さなかったものと思われる。

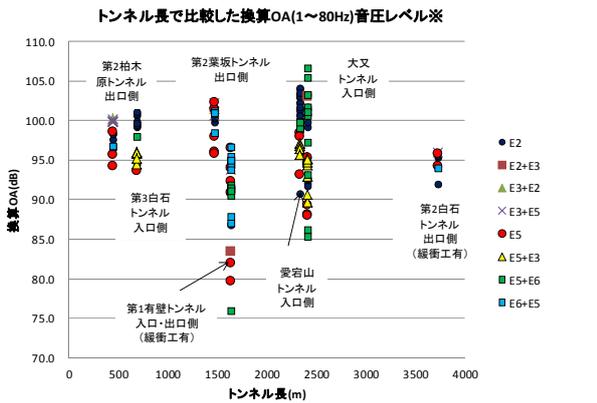
表4 大又トンネル距離減衰測定結果 H26.9.4

番号	車両形式	列車速度	OA (1~80Hz) 音圧レベル 70m	OA (1~80Hz) 音圧レベル 140m	OA (1~80Hz) 音圧レベル 280m	OA (1~80Hz) 音圧レベル差 70m-140m (dB)	OA (1~80Hz) 音圧レベル差 140m-280m (dB)	OA (1~80Hz) 音圧レベル差 70m-280m (dB)
1	E2	205	95.1	89.8	-	5.3	-	-
2	E2	208	94.8	89.8	-	5.0	-	-
3	E2	260	102.3	97.8	90.8	4.5	7.0	11.5
1	E5	226	91.3	86.4	79.0	4.9	7.4	12.2
2	E5	279	97.7	92.5	85.5	5.2	7.0	12.1
1	E5+E3	239	92.8	87.7	-	5.1	-	-
1	E5+E6	303	103.4	98.8	92.2	4.6	6.6	11.2
2	E5+E6	307	102.7	97.7	-	5.0	-	-
3	E5+E6	316	105.9	-	94.4	-	-	11.5
4	E5+E6	212	87.8	83.2	76.4	4.6	6.8	11.5
5	E5+E6	314	108.1	103.8	96.6	4.3	7.2	11.6

3.5 トンネル長の違いにおける低周波音レベルの変化

各測定地点における新幹線がトンネルに突入する際に発生する低周波音は、トンネル端からの距離や周辺地形、トンネルの突入速度、軌道の種類等さまざまな要因に依存し、並列に並べることは難しいが、トンネル長の違いによる低周波音の傾向をつかむため、あえて倍距離6dBの減衰を示すと仮定し、トンネル端から測定地点までの距離を100mに換算した際のOA(1~80Hz)音圧レベルを表したものを図4に示す。各測定地点における測定した車両の中で最大を示したOA(1~80Hz)音圧レベルで比較すると、緩衝工の無い測定地点4地点においては、トンネル長が長くなるにつれて、OA(1~80Hz)音圧レベルが大きくなる傾向があった。また緩衝工対策の有る第1有壁トンネル出入口及び第2白石トンネル出口の測定地点においては、緩衝工の対策

が無い他の地点と比較して、OA(1~80Hz)音圧レベルが低い傾向にあった。

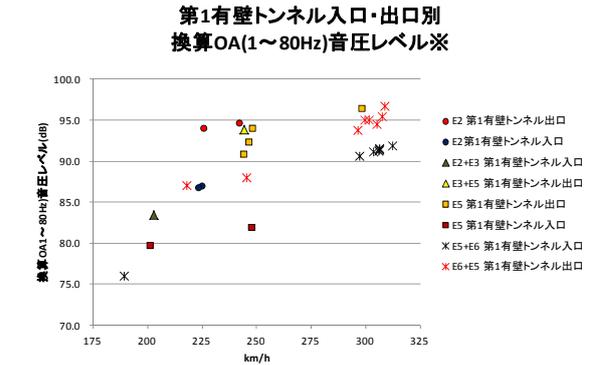


※OA(1~80Hz)音圧レベルを倍距離 6 dBで減衰すると仮定してトンネル端から100m地点で換算した値

#### 4 トンネル長で比較した換算 OA(1~80Hz) 音圧レベル

##### 3.6 緩衝工の違いにおける低周波音圧レベルの変化

第1有壁トンネルにおいては、出入口両方で測定しており、また両方とも緩衝工対策がなされている地点であることから、この両側の測定地点の比較を行ったものを図5に示す。ここでも3.5と同様の方法でトンネル端から測定地点までの距離を100mに換算している。入口側のOA(1~80Hz)音圧レベルが低い値を示した。入口、出口の違いについては、同じトンネルなのでトンネル長は同じであるものの、周辺地形や速度の違いがあるので一概には言えないが、入口側に設置してある緩衝工(出口側対策)は、11mである一方、出口側に設置してある緩衝工(入口側対策)は、36mでさらにダクトが設置してあり、その分入口側の方が小さい値を示したものと思われる。



※OA(1~80Hz)音圧レベルを倍距離 6 dBで減衰すると仮定してトンネル端から100m地点で換算した値

図5 第1有壁トンネル入口・出口別換算 OA(1~80Hz) 音圧レベル

#### 4 まとめ

県内において新幹線がトンネルに突入する際に発生する低周波音を調査した。新幹線がトンネルに突入する際に発生するOA(1~80Hz)音圧レベルは、速度の上昇に伴い大きくなる傾向であった。また先頭が新型の車両は旧型の車両よりも音圧レベルが小さい傾向にあった。1/3 オクターブバンド分析結果においては、1.6Hz~8.0Hzの範囲で最大音圧レベルが見られ、2.5Hz~4.0Hzに多く表れる傾向があった。先頭が新型の車両は旧型の車両と比較して3.15Hz~16Hz前後の周波数の音圧レベルが小さい傾向にあった。

各測定地点間の低周波音を比較するため、倍距離6dBの減衰を示すと仮定し、トンネル端から測定地点までの距離を100mに換算して比較した。トンネル長とOA(1~80Hz)音圧レベルの関係については、トンネル長が長くなるにつれて、OA(1~80Hz)音圧レベルが大きくなる傾向があった。また緩衝工の対策が有る地点については無い地点と比較してOA(1~80Hz)音圧レベルが低い傾向にあった。それぞれ緩衝工対策の有る、同じトンネル両端の測定地点を比較したところ緩衝工の長さが長く、かつダクトがある地点の方が音圧レベルが小さい傾向であった。

#### 5 参考文献

- 1) 平成26年度宮城県環境白書, (2014)
- 2) 松尾一泰, 青木俊之: 騒音制御, Vol23, No5(1999)

# 宮城県における有害大気汚染物質調査

## Study on Hazardous Air Pollutants in Miyagi Prefecture

佐藤 郁子 小泉 俊一 高橋 正人 佐久間 隆 安藤 孝志

Ikuko SATO, Syunichi KOIZUMI, Masato TAKAHASHI,  
Takashi SAKUMA, Takashi ANDO

平成10年度から平成26年度までの有害大気汚染物質モニタリング事業の測定結果について、濃度分布、経年変化及び地域特性等についてまとめた。環境基準が設定されている物質については、いずれも環境基準を下回っており概ね横ばい又は減少傾向であったが、一部の地点で特異的な濃度の上昇も見られた。指針値が設定されている物質については、いずれの物質も指針値を下回っていたが、調査地点によっては全国平均を上回る物質が見られた。指針値が設定されていない物質についても地点によっては米国環境保護庁の10<sup>-5</sup>リスク換算値を超える物質があった。また、測定項目間の相関関係は、沿道の影響が考えられる地点で自動車排出ガスに関連する物質間でやや強い相関が見られた。

キーワード：有害大気汚染物質；揮発性有機化合物（VOCs）

**Key Words** : hazardous air pollutants ; volatile organic compounds (VOCs)

### 1 はじめに

大気汚染防止法第22条の規定に基づく事務処理基準により、地方公共団体は有害大気汚染物質による大気汚染状況の把握に努めなければならないとされた。現在、優先取組物質23物質のうちベンゼン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタンの4物質については環境基準が設定され、アクリロニトリル、塩化ビニルモノマー、クロロホルム、1,2-ジクロロエタン、1,3-ブタジエン、水銀、ニッケル、ヒ素、マンガンの9物質については指針値が設定されている。

本県では平成9年10月から県内4地点において有害大気汚染物質のモニタリング調査を開始し、21物質について測定を実施している。測定開始後から平成17年度までの調査結果について環境基準達成状況や各調査地点における自動車排出ガスの影響等について報告したが<sup>1)2)</sup>、今回さらに26年度までの測定結果を基に年平均値による濃度分布、経年変化、地域特性等について概要を報告する。

### 2 方法

#### 2.1 調査地点及び調査期間

調査地点の概要を表1に示した。県内4地点（一般環境2地点、沿道1地点、発生源周辺1地点）のうち、一般環境の調査地点は平成19年度から隔年で測定を実施している。平成10年4月から平成27年3月までを調査対象期間とした。

表1 調査地点の概要

調査地点	地点分類	備 考
大河原町	一般環境	仙南保健福祉事務所屋上
名取市	道路沿道	名取自動車排出ガス測定局
塩竈市	発生源周辺	塩釜一般環境大気測定局
大崎市	一般環境	古川Ⅱ一般環境大気測定局

#### 2.2 試料採取及び分析方法

環境省の「有害大気汚染物質測定方法マニュアル<sup>3)</sup>」に従い、下記のとおり実施した。

##### 1) 揮発性有機化合物

揮発性有機化合物（以下、VOCs）は真空化した6Lキャニスター容器を用い大気試料を24時間採取、大気試料濃縮装置（ジーエルサイエンス社製 AERO Tower System）により試料を導入し、GC/MS（日本電子社製 JMS-Q1050GC）で分析を行った。

##### 2) アルデヒド類

大気試料を0.1 l/minの流速でDNPH捕集管に24時間採取、アセトニトリルで溶出しHPLC（アジレント1260システム）により分析を行った。

##### 3) ベンゾ[a]ピレン

大気試料をハイボリュームエアースンプラにより石英繊維ろ紙上に700 l/minの流速で24時間採取、ろ紙にジクロロメタンを加え超音波抽出した後トルエンに転溶し、GC/MS（島津QP2010 Ultra）により分析を行った。

##### 4) 金属類

ベンゾ[a]ピレンと同様に大気試料を石英繊維ろ紙上に採取、圧力容器を用いて酸分解後、ICP-MS（アジレント7700）により分析を行った。

##### 5) 酸化エチレン

大気試料を0.7 l/minの流速で捕集管（ORBO 78）に24時間採取、トルエン/アセトニトリル抽出した後、GC/MS（島津QP2010 Ultra）により分析を行った。

##### 6) 水銀

大気試料を0.5 l/minの流速で金アマルガム捕集管に24時間採取、加熱気化冷原子吸光法（日本インスツルメンツ社、WA-4）により分析を行った。

### 3 結果と考察

調査結果（年平均値）の概要を表2に示した。年平均値は原則として12回の測定結果を算術平均して算出した。なお、平均値の算出にあたり検出下限値未満の場合は検出下限値の1/2値を用い、検出下限値以上で定量下限値未満の場合は測定値を用いた。

#### 3.1 年平均値の濃度推移

県内4地点における各物質濃度の年平均値と全国の年平均値<sup>5)</sup>の推移を図1-1～図1-16に示した。ベリリウムについてはすべてのデータが検出下限値以下であることから、対象からはずし解析を行った。

##### 1) VOCs

トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンについては環境基準（200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を大きく下回っており全国平均と比較しても低めに推移している（図1-1、図1-2）。トリクロロエチレンは大河原で他の地点より濃度が高めに推移しているが、テトラクロロエチレンと共に近年の濃度は横ばい傾向であった。ベンゼンは、平成10年度と11年度に沿道の名取におい

ジクロロメタンについては、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンと同様に環境基準（150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を大きく下回っているが、名取と塩釜で特異的な推移が見られ（図1-4）、近傍に発生源があることなどの要因が推察された。

以下指針値が設定されている物質については、アクリロニトリルが指針値（2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を大きく下回っており、全体的には濃度は減少傾向であるが、塩釜・名取で特異的な推移をしており全国平均を上回る年度が見られた（図1-5）。塩化ビニルモノマーは指針値（10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を大きく下回っており、同様に減少傾向が見られた。

クロロホルムは指針値（18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を下回っているが、一部地点で米国環境保護庁（以下、EPA）が設定したユニットリスクに基づく $10^{-5}$ リスク換算値0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている年度が見られた（図1-6）。1,2-ジクロロエタンについては、平成17年度までは減少傾向が見られたが、以降は全国平均と同様に近年わずかに濃度の上昇が見られる。

1,3-ブタジエンについては、指針値（2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を下回っていたが、沿道の名取でEPAの $10^{-5}$ リスク換算値

表2 各地点の調査結果概要（年平均値）

調査対象物質	年度	大河原町			名取市			塩釜市			大崎市			環境基準	指針値	EPA	WHO
		平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値				
トリクロロエチレン	H10-H26	0.34	0.17	0.64	0.13	0.030	0.51	0.08	0.029	0.23	0.09	0.040	0.17	200			23
テトラクロロエチレン	H10-H26	0.12	0.049	0.19	0.03	0.015	0.55	0.15	0.023	0.43	0.12	0.022	0.32	200			206
ベンゼン	H10-H26	1.5	0.74	1.8	1.9	1.0	3.9	1.4	0.72	2.8	1.3	0.71	2.1	3	1.3-4.5	1.7	
ジクロロメタン	H10-H26	1.3	0.79	2.3	3.0	0.7	7.8	4.2	0.78	13	1.8	0.68	4.0	150	20		20
アクリロニトリル	H10-H26	0.054	0.024	0.10	0.11	0.037	0.22	0.25	0.070	0.47	0.17	0.070	0.37		2	0.1	0.5
塩化ビニルモノマー	H10-H26	0.026	0.008	0.050	0.025	0.0059	0.10	0.025	0.0058	0.10	0.024	0.0052	0.090		10	2.3	10
塩化エチレン	H24-H26	1.2	-	-	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.2	1.3				
クロロホルム	H10-H26	0.18	0.12	0.26	0.27	0.13	0.90	0.24	0.11	0.60	0.36	0.13	0.74		18	0.4	
1,2-ジクロロエタン	H10-H26	0.088	0.038	0.22	0.10	0.13	0.30	0.10	0.029	0.26	0.095	0.032	0.22		1.6		
トリクロロエチレン	H24-H26	1.1	1.1	1.1	2.0	1.0	3.4	1.7	1.3	2.0	1.3	1.3	1.3			0.3	
1,3-ブタジエン	H10-H26	0.15	0.030	0.34	0.32	0.13	0.82	0.15	0.060	0.44	0.14	0.05	0.32		2.5		
アクリロニトリル	H11-H26	2.6	1.3	5.1	2.7	1.4	4.1	2.5	1.3	3.7	2.0	1.0	2.9			5	
トリクロロエチレン	H11-H26	2.5	1.9	4.0	4.3	2.9	6.0	2.7	1.8	3.1	2.2	1.6	2.4			0.8	
ベンゼン	H11-H26	0.31	0.11	0.62	0.28	0.062	0.60	0.22	0.043	0.53	0.24	0.090	0.41				0.11
ニカル	H15-H26	2.3	1.10	3.5	3.7	2.4	6.2	2.9	1.4	5.4	7	0.1	1.7		25	40	25
クロロホルム	H15-H26	0.84	0.49	1.4	0.8	0.27	1.6	1.0	0.70	1.6	1.3	0.7	1.7		8	2	6.7
ペリリウム	H15-H26	0.26	< 0.2	< 1.6	0.26	< 0.2	< 1.6	0.26	< 0.2	< 1.6	0.26	< 0.2	< 1.6			4	
ジクロロメタン	H15-H26	1.1	0.9	1.3	2.7	1.8	4.5	1.6	1.0	3.0	1.3	0.93	1.8		140		
クロロホルム	H15-H26	3.1	1.8	4.2	3.6	2.0	6.2	3.5	1.8	7.1	2.8	1.0	4.7			0.8	0.25
塩化エチレン	H15-H26	0.14	0.04	0.36	0.11	0.04	0.67	0.12	0.022	0.35	0.15	0.05	0.32				
水銀	H17-H26	1.7	1.6	1.8	1.7	1.5	2.0	1.8	1.4	2.0	1.6	1.5	1.7		40		

注：平均値の欄は各地点の算術平均値を記載した。検出下限値未満のデータは検出下限の1/2を用いた平均値を算出した。

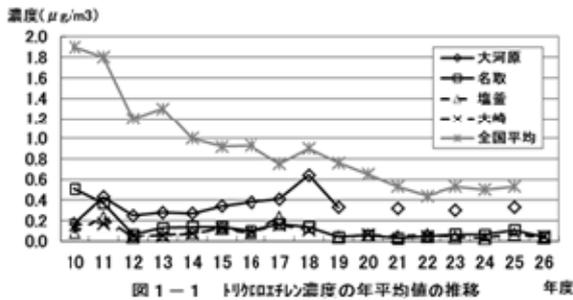


図1-1 トリクロロエチレン濃度の年平均値の推移

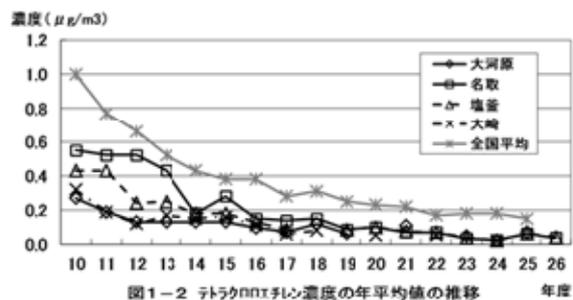


図1-2 テトラクロロエチレン濃度の年平均値の推移

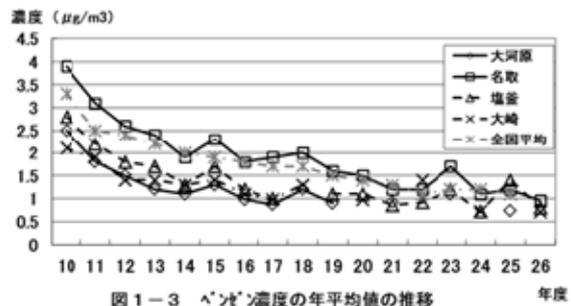


図1-3 ベンゼン濃度の年平均値の推移

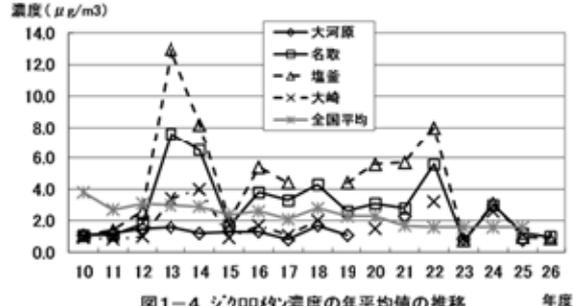


図1-4 ジクロロメタン濃度の年平均値の推移

て環境基準（3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を上回ったが、その後は全国平均と同様に各地点とも年々減少傾向が見られた（図1-3）。

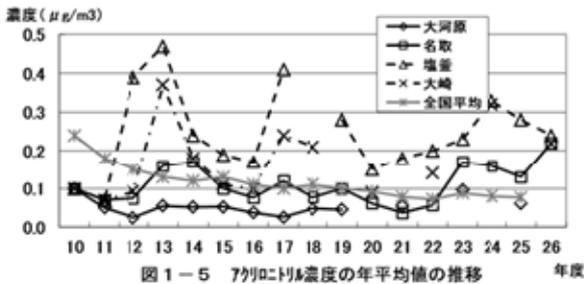


図1-5 フォルムアルデヒド濃度の年平均値の推移

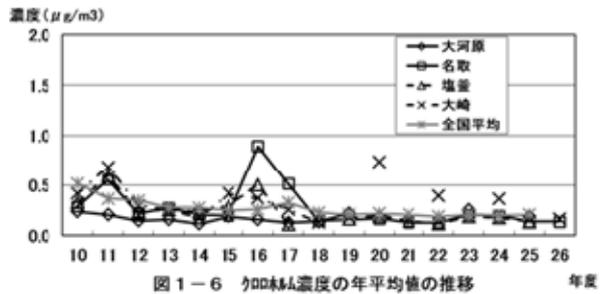


図1-6 ホルムアルデヒド濃度の年平均値の推移

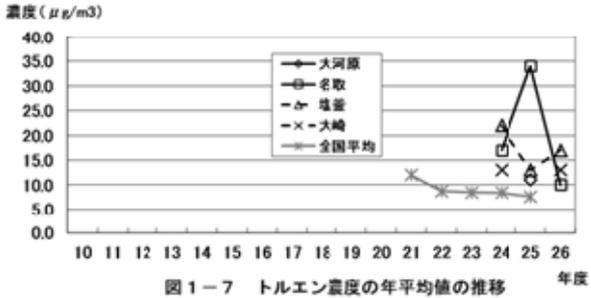


図1-7 トルエン濃度の年平均値の推移

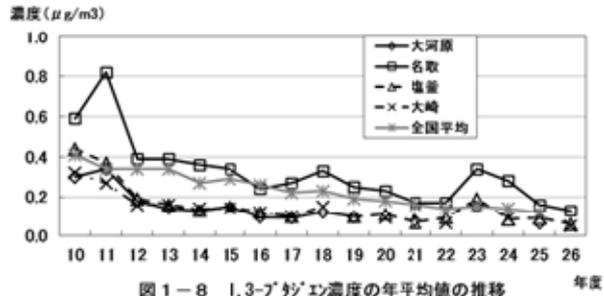


図1-8 1,3-ブタジエン濃度の年平均値の推移

0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている年度が多く、全国平均と比較しても高めに推移していた（図1-8）。

塩化メチル、トルエンは平成24年度から測定を開始した。

塩化メチルは全国平均より低い濃度で、地点間の濃度に差は見られなかった。トルエンは名取・塩釜で濃度が全国平均を大きく超えた年度もあり、変動幅が大きくなっていった。

（図1-7）。これについては24・25年度に実施された近傍庁舎の補修・塗装工事等の影響が出ている可能性もあるが、他の発生源等追跡の必要もあるものと考えられた

2) アルデヒド類

アセトアルデヒドについてはほぼ横ばい傾向であり、全ての地点で全国平均と同程度か低めに推移している（図1-9）。

ホルムアルデヒドは、1,3-ブタジエンと同様にディーゼル車等からの排出ガスの影響が考えられる沿道の名取で他の地点より高めに推移し、全国平均も上回っていた（図1-10）。

また、全地点でEPAの $10^{-5}$ リスク換算値0.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えていた。

3) ベンゾ[a]ピレン

ベンゾ[a]ピレンは平成10年代は沿道の名取で全国平均を上回る年度が多く自動車排出ガスの影響が考えられた。

近年の濃度は全国平均に近づいてきて全体的には減少傾向であるが、地点毎に特異的な推移をしており（図1-11）、独自の発生源の存在が推察された。

4) 金属類

ニッケル、ヒ素、バリウム、マンガン、クロムの5物質は平成15年度から測定を実施している。

ニッケルについては、指針値(25  $\text{ng}/\text{m}^3$ )を下回ってはいないものの大崎において15年度、16年度に全国平均より濃度が高くなっていたが<sup>2)</sup>、以降は減少している（図1-12）。

ヒ素も、大崎で全国平均より濃度が高い年度もあったが17年度以降は全地点で全国平均を下回っており（図1-13）、EPAの $10^{-5}$ リスク換算値2  $\text{ng}/\text{m}^3$ 以下であった。

マンガンは、沿道の名取が他の3地点と比較し高めに推移していた（図1-14）。

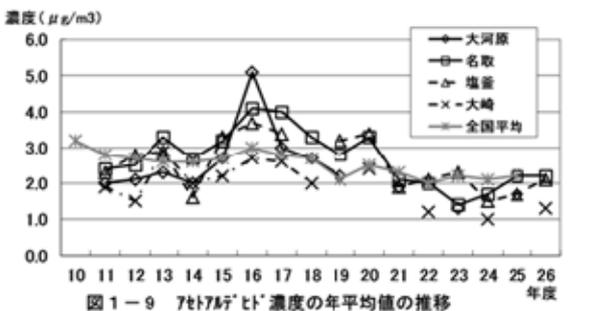


図1-9 アセトアルデヒド濃度の年平均値の推移

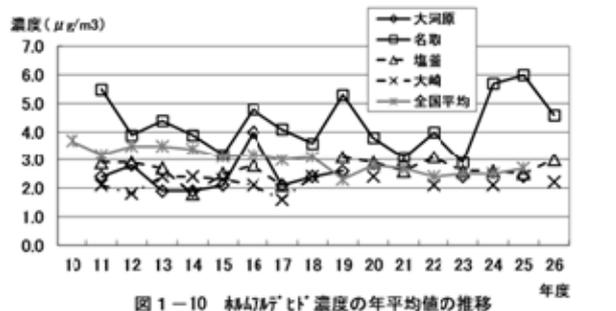


図1-10 フォルムアルデヒド濃度の年平均値の推移

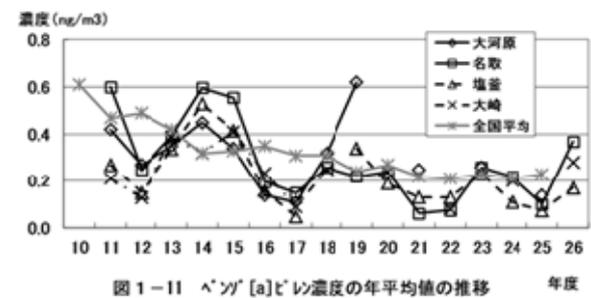


図1-11 ベンゾ[a]ピレン濃度の年平均値の推移

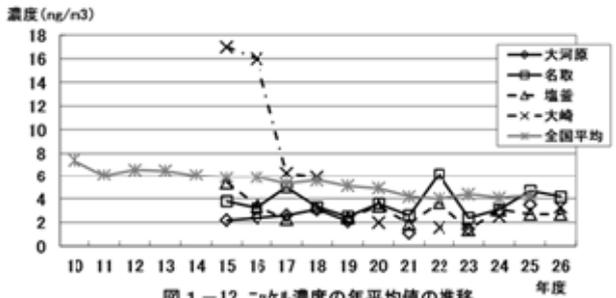


図1-12 ニッケル濃度の年平均値の推移

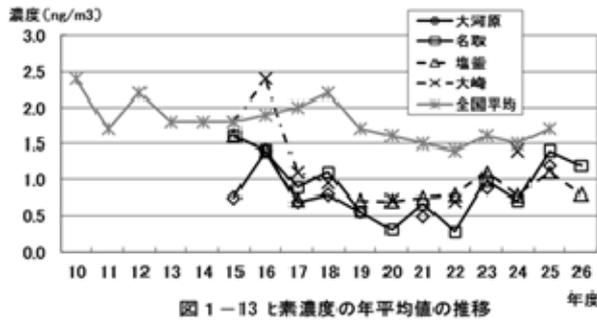


図1-13 ヒ素濃度の年平均値の推移

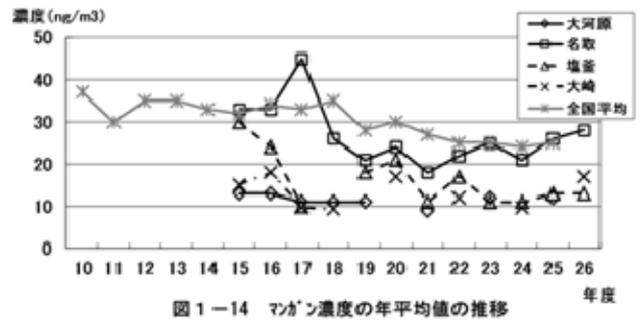


図1-14 マンガン濃度の年平均値の推移

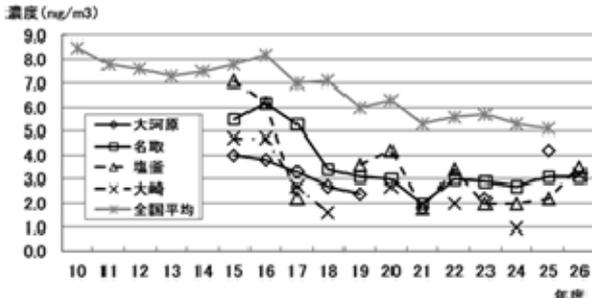


図1-15 鉛濃度の年平均値の推移

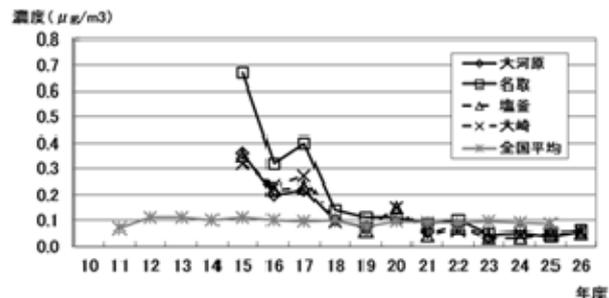


図1-16 酸化エチレン濃度の年平均値の推移

クロムはいずれの地点においても全国平均以下であったが、EPAの $10^{-5}$ リスク換算値 $0.8 \text{ ng/m}^3$ よりは高めに推移していた(図1-15)。

水銀は、全ての地点で指針値( $40 \text{ ng/m}^3$ )及び全国平均以下であった。

5) 酸化エチレン

酸化エチレンは、測定開始当初はいずれの地点においても全国平均よりも高めであったがその後減少し、全国平均と同程度の濃度で推移している。(図1-16)。

3.2 測定項目間の相関行列

調査地点ごとの特性を把握するため、各測定項目間の相関行列を表3-1～表3-4に示した。データは名取・塩釜は24～26年度の3ヶ年を使用した。一般環境は隔年測定であることから大河原は23・25年度、大崎は24・26年度について実施したため平成24年度から測定を開始した塩

化メチル・トルエンは大河原の対象から除外した。

大河原・大崎ではベンゼン、1,3-ブタジエン及びベンゾ[a]ピレンの間でやや強い相関があり自動車排出ガスの影響が大きいと考えられた。名取自排局でも相関は見られるが前記2局ほど強い相関はなく、自動車排出ガス以外の発生源の影響を受けているものと考えられた。

塩化メチルは各地点とも複数の物質でやや強い相関が見られたが、項目に共通点が見受けられないことから地点毎に異なる発生要因が考えられた。トルエンは、塩化メチルと比較すると他物質の間に何らかの相関は見られなかった。今後のデータの蓄積が必要かと考えられる。

アルデヒド類については、前回の調査で見られたような強い相関は見られなかった。また、金属類については、名取と塩釜で金属間の弱い相関が見られたが、大崎においては相関関係がないことから他の3地点とは異なる発生要

表3-1 測定項目間の相関行列(大河原)

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1 トルエン	1																				
2 1,3-ブタジエン	0.609**	1																			
3 ベンゼン	0.377	0.522	1																		
4 ジクロロベンゼン	0.333	0.246	0.296	1																	
5 1,2-ジクロロベンゼン	-0.199	-0.228	0.348	0.447	1																
6 塩化メチル	0.154	0.382	0.630**	0.154	0.307	1															
7 クロロホルム	0.183	-0.054	-0.078	0.292	0.010	-0.188	1														
8 1,2-ジクロロエタン	-0.050	0.202	0.086	0.086	0.113	0.201	0.108	1													
9 1,3-ブタジエン	0.146	0.154	0.147	0.058	0.390	0.473	0.012	-0.217	1												
10 アセトフェノン	0.321	0.057	-0.282	0.140	-0.243	-0.433	0.483	0.024	-0.158	1											
11 1,4-ジオキサン	0.151	-0.140	-0.005	0.232	0.170	-0.082	0.148	0.248	-0.146	0.539	1										
12 1,4-ジオキサン	0.129	0.234	0.175	-0.017	0.363	0.127	0.065	-0.060	0.863**	-0.004	-0.010	1									
13 ニッケル	-0.062	-0.220	-0.095	0.191	0.306	-0.087	-0.078	0.254	-0.206	0.100	0.189	0.280	1								
14 鉄	-0.060	-0.016	-0.044	0.190	0.306	-0.238	0.230	0.213	-0.085	0.306	0.182	0.469	0.497	1							
15 マンガン	-0.101	-0.139	0.182	-0.051	0.378	-0.103	0.049	0.048	0.165	0.119	0.168	0.690**	0.774**	0.681**	1						
16 クロム	-0.059	-0.205	-0.046	0.079	0.288	-0.165	0.096	0.069	-0.146	0.144	0.153	0.344	0.922**	0.567	0.812**	1					
17 酸化エチレン	-0.111	-0.217	-0.322	0.148	0.076	-0.298	0.155	0.486	-0.800	0.363**	0.611**	-0.004	0.828**	0.507	0.449	0.365**	1				
18 水銀	0.487	0.487	0.395	0.410	0.722	0.430	-0.193	0.058	0.228	0.116	0.066	0.330	0.178	0.326	0.752	0.049	0.216	1			

\*:10%相関  
\*\*:1%相関  
※大河原は各年度測定のため23・25年度のデータを使用しているが、塩化メチル・トルエンは25年度しか測定していないため、対象から除外した。

表3-2 測定項目間の相関行列(名取)

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1 トルエン	1																				
2 1,3-ブタジエン	0.309**	1																			
3 ベンゼン	0.293	0.468**	1																		
4 ジクロロベンゼン	0.042	-0.085	0.388**	1																	
5 1,2-ジクロロベンゼン	-0.286	-0.187	-0.202	-0.252	1																
6 塩化メチル	0.344**	0.476**	0.351**	0.061	-0.191	1															
7 クロロホルム	-0.072	0.143	-0.124	0.001	0.285	0.130	1														
8 1,2-ジクロロエタン	0.173	0.135	0.185	0.282	0.215	0.235	0.181	1													
9 1,3-ブタジエン	0.076	0.348**	0.028	0.030	0.043	0.133	0.025**	0.298	1												
10 マンガン	0.111	-0.129	0.041	0.096	0.010	-0.100	-0.207	0.179	0.247	1											
11 1,4-ジオキサン	0.030	-0.055	0.330**	0.169	0.133	0.041	-0.191	0.310	0.002	0.573**	1										
12 アセトフェノン	0.142	0.130	0.096	-0.065	0.311	0.004	0.188	-0.148	-0.073	0.183	-0.067	1									
13 1,4-ジオキサン	0.118	-0.058	-0.217	-0.116	0.234	-0.110	-0.041	-0.155	-0.151	0.139	-0.050	0.782**	1								
14 ニッケル	-0.192	-0.057	0.261	0.029	0.383**	-0.036	0.129	-0.006	-0.035	-0.148	0.092	0.124	-0.173	1							
15 鉄	0.356**	0.244	-0.134	-0.063	-0.182	0.336**	0.494**	-0.009	0.327	0.026	-0.142	0.122	0.098	-0.109	1						
16 マンガン	0.478**	0.078	-0.076	0.040	-0.180	0.289	0.382**	-0.082	0.246	0.219	-0.062	0.315	0.120	-0.004	0.542**	1					
17 クロム	-0.022	0.025	-0.146	-0.010	0.081	-0.096	0.334**	-0.159	0.187	0.030	-0.058	0.252	0.017	0.207	0.308**	0.308**	1				
18 酸化エチレン	-0.311	-0.317	-0.341	-0.011	0.029	0.263	0.141	-0.125	0.211	0.315	0.024	0.089	0.122	0.088	0.358**	0.254	0.575**	1			
19 水銀	-0.289	-0.153	-0.255	-0.015	0.073	-0.227	0.389**	0.271	0.454**	0.234	0.050	-0.008	0.071	-0.123	0.160	-0.025	0.020	0.054	1		
20 水銀	0.080	0.145	0.080	-0.003	-0.001	-0.036	0.128	-0.150	0.260	0.111	0.088	0.240	0.207	-0.156	0.368**	0.087	0.358**	0.218	0.201	1	

\*:10%相関  
\*\*:1%相関

表3-3 測定項目間の相関行列(塩釜)

※:5%有意  
\*\* :1%有意

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1 トリクロロエチレン	1																			
2 四クロロエチレン	0.774**	1																		
3 ベンゼン	0.770**	0.752**	1																	
4 ジクロロベンゼン	0.083	-0.076	0.042	1																
5 1,3-ブタジエン	0.018	-0.137	-0.213	0.077	1															
6 塩化エチレン/ポリマー	0.268**	-0.487**	-0.598**	0.041	-0.124	1														
7 塩化ポリブレン	0.287**	0.261	0.115	-0.005	0.003	0.206	1													
8 クロロホルム	0.216	0.178	0.022	0.224	-0.827**	0.191	-0.998**	1												
9 1,2-ジクロロベンゼン	0.307	0.502	0.387**	0.044	-0.036	0.243	0.324	0.384**	1											
10 トルエン	0.158	-0.092	-0.120	0.156	0.061**	0.128	0.320	0.322**	-0.018	1										
11 1,3,5-トリメチルベンゼン	0.687**	0.544	0.624**	0.163	-0.006	-0.828**	0.120	0.196	0.146	0.018	1									
12 アセトアルデヒド	0.200	0.173	0.024	0.196	0.113	0.286	0.468**	0.182	0.145	0.004	0.004	1								
13 ホルムアルデヒド	0.083	0.095	-0.157	0.227	0.085	0.053	0.389**	0.219	0.052	0.144	0.084	0.667**	1							
14 ヘンツ[α]ピレン	-0.185	-0.016	-0.061	0.164	0.012	-0.171	-0.113	0.082	0.000	-0.081	-0.098	0.092	0.075	1						
15 ニッケル	-0.058	-0.115	-0.213	-0.138	-0.280	0.002	0.170	0.011	0.275	-0.114	-0.279	0.245	0.183	0.085	1					
16 七素	0.133	0.223	-0.007	0.183	-0.071	-0.007	0.387**	0.165	-0.438**	-0.040	-0.017	0.247	0.158	0.192	0.274	1				
17 マンガン	0.078	0.357	0.102	-0.032	-0.195	0.047	0.230	0.136	-0.391**	0.165	0.162	0.269	0.236	0.194	0.375**	0.468**	1			
18 コバルト	-0.118	0.188	-0.091	-0.084	-0.219	-0.048	0.250	0.184	-0.348**	-0.183	-0.119	0.239	0.245	0.255	0.536**	0.342**	0.287**	1		
19 酸化エチレン	-0.301	-0.070	-0.243	-0.068	-0.142	-0.117	-0.147	0.178	0.218	-0.365	-0.158	0.227	0.159	-0.090	0.239	0.341**	0.325	0.203	1	
20 水銀	0.204	0.239	0.164	0.135	0.272	0.054	0.138	0.482**	-0.372**	-0.083	0.084	0.048	0.065	0.100	0.053	0.333**	0.302**	0.417**	0.067	1

表3-4 測定項目間の相関行列(大崎)

※:5%有意  
\*\* :1%有意

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1 トリクロロエチレン	1																			
2 四クロロエチレン	0.122	1																		
3 ベンゼン	0.298	0.061	1																	
4 ジクロロベンゼン	0.124	-0.072	0.254	1																
5 1,3-ブタジエン	-0.282	-0.195	-0.439	-0.205	1															
6 塩化エチレン/ポリマー	-0.126	-0.055	0.136	0.241	0.113	1														
7 塩化ポリブレン	0.049	0.005	-0.171	-0.098	0.017	-0.118	1													
8 クロロホルム	-0.186	-0.237	-0.374	0.370	0.357	0.000	-0.044	1												
9 1,2-ジクロロベンゼン	0.171	0.650**	0.134	0.191	-0.178	0.016	-0.085	0.315	1											
10 トルエン	-0.015	-0.189	0.322	-0.083	0.424**	0.314	0.389	0.241	0.022	1										
11 1,3,5-トリメチルベンゼン	0.314	-0.357	0.602**	0.023	0.020	0.630	0.332	0.599	-0.028	-0.006	1									
12 アセトアルデヒド	0.229	0.116	0.094	0.048	-0.299	-0.257	0.412**	0.060	0.216	-0.098	-0.053	1								
13 ホルムアルデヒド	0.165	0.087	-0.237	0.282	-0.081	-0.085	0.506**	0.380	0.297	0.388	-0.121	0.485**	1							
14 ヘンツ[α]ピレン	0.293	-0.202	-0.445**	0.180	-0.127	-0.178	-0.111	0.068	0.148	-0.280	0.049	0.418**	0.038	1						
15 ニッケル	-0.150	0.133	-0.328	-0.243	0.280	-0.083	0.498**	0.115	0.023	0.241	-0.368	-0.468**	0.480**	0.187	1					
16 七素	-0.135	0.282	0.343	-0.404	-0.373	0.321	-0.088	0.194	0.498**	0.119	0.041	0.352	0.281	0.082	-0.004	1				
17 マンガン	0.001	0.241	0.143	-0.012	-0.308	-0.090	-0.189	0.189	0.276	-0.445	-0.058	0.167	0.039	0.141	0.088	0.234	1			
18 コバルト	0.001	-0.112	0.000	-0.062	-0.065	-0.090	-0.024	0.180	0.041	-0.001	-0.106	0.125	0.049	0.115	0.121	0.182	0.177	1		
19 酸化エチレン	0.017	0.388	-0.172	0.078	-0.385	-0.103	0.066	0.201	-0.613**	-0.049	-0.183	0.178	0.244	-0.083	-0.104	0.392	0.177	0.229	1	
20 水銀	0.048	-0.299	-0.070	0.365	-0.118	0.148	0.545**	0.327	-0.041	0.044	-0.188	0.139	0.222	0.117	0.090	0.138	0.012	0.038	0.020	1

因が考えられた。

### 3.3 主成分分析

調査地点ごとの特性を把握するため主成分分析を行い、各地点における固有値・寄与率を表4に、第2主成分までの負荷量を表5、負荷量の分布を図2-1~図2-4に示した。表4をみると第1主成分の寄与率は17.1%(名取)~25.2%(大河原)の範囲であり、累積寄与率は各地点とも第5主成分までに70%前後に達していた。前回の調査を比較すると第1・2主成分での寄与率が低下していることから、各主成分が積み重なって複雑な影響を与えており、測定地点の状況の変化、季節的変動、物質の用途等多くの要因が係わっていると考えられた。表5をみると第1主成分の負荷量はほとんどの物質が正の符号であり、大河原・名取・大崎では金属類・アルデヒド類の負荷量が高かったが塩釜では同じ傾向は見られなかった。

第2主成分では大河原のベンゼン、1,3-ブタジエン、ベンツ[a]ピレンの負荷量が高く、自動車排出ガスに関連する物質の特性をある程度反映しているが、名取ではベンゼンの負荷量が高いものの他物質の負荷量は高くならず、自動車排ガス以外にも多くの要因が影響してきているものと考えられた。

また、図2-1~図2-4の各地点毎の第1・2主成分の分布図ではテトラクロロエチレンとベンゼン、1,3-ブタジエン、ベ

ンツ[a]ピレン、アルデヒド、トルエン等の沿道に関連する物質を枠線で囲んでいるが、これらの物質の散布状況ではテトラクロロエチレン、ベンゼン、1,3-ブタジエンは名取・大河原では第2主成分の正の負荷量が高いが塩釜・大崎では第1・2主成分とも負の負荷量が高くなっている。

また、アセトアルデヒド及び負荷量全体の分布も名取・大河原と塩釜・大崎で類似した傾向であることから、地点間の類似性のある程度は示しているものと推察されるが、大河原、大崎が隔年測定となっているので、トルエン等はより連続したデータの蓄積が必要かと考えられた。

### 4 まとめ

宮城県内における平成10年度から26年度までの有害大気汚染物質モニタリング事業の測定結果をまとめ、濃度分布、経年変化、地域特性等について概要を把握した。

(1) 環境基準が設定されている4物質については、調査開始当初はベンゼンが環境基準を超える年度もあったが、減少傾向が続いている。近年クロロホルムが若干濃度の上昇が見られたものの環境基準を下回っており、濃度は横ばいであった。

表4 各地点における主成分の固有値、寄与率、累積寄与率

成分	大河原(H23・H25)			名取			塩釜			大崎(H24・26)		
	固有値	寄与率(%)	累積寄与率	固有値	寄与率(%)	累積寄与率	固有値	寄与率(%)	累積寄与率	固有値	寄与率(%)	累積寄与率
主成分1	4.54	25.2	25.2	3.42	17.1	17.1	4.60	23.0	23.0	3.53	17.7	17.7
主成分2	3.79	21.1	46.3	3.05	15.3	32.4	3.47	17.3	40.3	3.20	16.0	33.6
主成分3	2.38	13.2	59.5	2.14	10.7	43.1	2.63	13.2	53.5	2.33	11.6	45.3
主成分4	1.63	9.1	68.6	1.89	9.5	52.5	1.64	8.2	61.7	2.22	11.1	56.4
主成分5	1.50	8.3	76.9	1.75	8.7	61.3	1.33	6.7	68.4	1.63	8.2	64.5
主成分6	1.16	6.5	83.3	1.60	8.0	69.3	1.12	5.6	74.0	1.33	6.7	71.2
主成分7	0.96	5.3	88.6	1.19	6.0	75.3	0.89	4.5	78.4	1.26	6.3	77.5
主成分8	0.68	3.8	92.5	1.02	5.1	80.3	0.78	3.9	82.4	1.09	5.5	83.0
主成分9	0.46	2.6	95.0	0.76	3.8	84.2	0.69	3.4	85.8	0.82	4.1	87.1
主成分10	0.33	1.9	96.9	0.59	2.9	87.1	0.65	3.2	89.0	0.70	3.5	90.5

表5 各地点における主成分負荷量

No.	大河原 (H23~H25)		名取		塩釜		大崎 (H24・H26)	
	主成分1	主成分2	主成分1	主成分2	主成分1	主成分2	主成分1	主成分2
1 トルエン	-0.030	0.439	0.375	0.692	0.754	-0.319	0.305	-0.198
2 1,3-ブタジエン	-0.182	0.572	0.325	0.682	0.774	-0.273	0.461	0.110
3 ベンゼン	0.005	0.924	-0.074	0.712	0.622	-0.356	0.399	-0.678
4 ジクロロメタン	0.275	0.223	-0.038	0.295	0.139	-0.023	0.338	-0.039
5 7,7,8,8-テトラクロロジブチルジエン	0.417	0.395	-0.017	-0.402	-0.031	-0.154	-0.683	0.296
6 塩化ビニルモノマー	-0.176	0.713	0.293	0.721	0.633	-0.436	-0.113	-0.026
7 塩化メチレン	-	-	0.394	-0.121	0.386	0.108	0.036	0.673
8 クロロホルム	0.196	-0.172	0.061	0.322	0.452	-0.022	-0.057	0.392
9 1,2-ジクロロエタン	0.362	-0.026	0.574	0.079	0.673	0.264	0.657	0.168
10 塩化エチレン	-	-	0.213	-0.096	0.143	-0.214	-0.353	0.560
11 1,3-ブタジエン	-0.061	0.769	-0.102	0.176	0.574	-0.328	-0.002	-0.580
12 7,7,8,8-テトラクロロジブチルジエン	0.401	-0.298	0.404	-0.146	0.475	0.274	0.604	0.378
13 塩化メチレン	0.475	-0.094	0.240	-0.292	0.331	0.373	0.406	0.705
14 ベンゾ[a]ピレン	0.453	0.670	-0.064	-0.071	0.005	0.289	0.385	-0.265
15 水銀	0.835	-0.074	0.519	0.055	0.162	0.627	0.071	0.672
16 塩素	0.780	0.020	0.734	0.095	0.453	0.490	0.673	0.040
17 マネン	0.835	0.177	0.656	-0.307	0.575	0.006	0.543	-0.156
18 カドミウム	0.853	-0.083	0.417	-0.068	0.400	0.732	0.368	0.013
19 酸化エチレン	0.787	-0.367	0.232	-0.334	-0.002	0.555	0.576	0.236
20 臭素	0.341	0.596	0.491	-0.117	0.456	0.220	0.126	0.264

(2) 指針値が設定されている VOCs については、いずれの物質も指針値を下回っていたが、大崎のアクリロニトリル、名取の 1,3-ブタジエンで全国平均を上回る年度が見られた。

(3) アルデヒド類は沿道の名取で全国平均を上回る年度が多く自動車排出ガスの影響が考えられた。

ベンゾ[a]ピレンは平成 10 年代はアルデヒドと同じく名取で全国平均を上回る年度が多かったが、近年は特異的な変動を示しているものの濃度は全国平均に近づいている。

(4) トルエンは平成 24 年度の測定以来名取・塩釜で濃度が全国平均を大きく超えた年度もあり、変動幅も大きくなっていった。これについては 24・25 年度に近傍庁舎の工事等の影響も出ている可能性もあるが、今後発生源等追跡等の必要もあるものと考えられた。

(5) 金属類については、大崎のニッケルで平均を上回る年度が見られたが、ほとんどは全国平均以下であった。

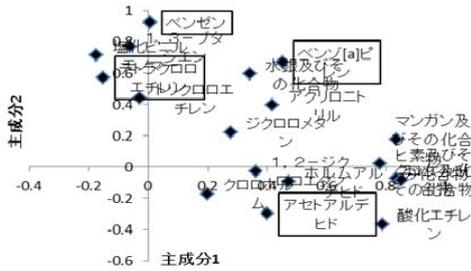


図2-1 主成分1×主成分2(大河原)



図2-2 主成分1×主成分2(名取)

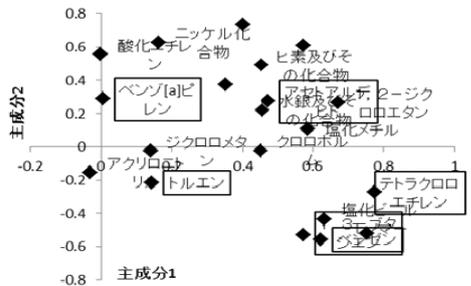


図2-3 主成分1×主成分2(塩釜)

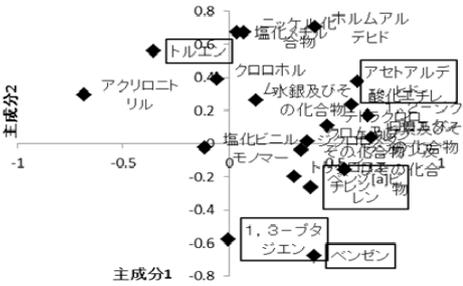


図2-4 主成分1×主成分2(大崎)

しかし、クロムのようにすべての地点で EPA の  $10^{-5}$  リスク換算値を超える物質も見られた。

(6) 測定項目間の相関関係は、自動車排出ガスの影響が考えられる物質間についてやや強い相関が見られた。

(7) 各地点毎に測定項目について主成分分析を行った結果、第 1 主成分の負荷量は大河原・名取・大崎では金属類・アルデヒドの負荷量が高かった。

第 2 主成分では大河原ではベンゼン、1,3-ブタジエン、ベンゾ[a]ピレンの負荷量が高く、自動車排出ガスに関連する物質の特性がある程度反映されているが、名取ではベンゼンの負荷量が高いものの、他物質については多くの要因が影響してきているものと考えられた。

また、測定地点毎の各主成分負荷量の散布図では名取・大河原間及び塩釜・大崎間で類似した傾向が見られた。

参考文献

- 1) 木戸一博他：宮城県保健環境センター年報，19，108 (2001)
- 2) 佐久間隆他：宮城県保健環境センター年報，25，88 (2007)
- 3) 環境省水・大気環境局大気環境課：有害大気汚染物質測定方法マニュアル，平成 23 年 3 月改訂
- 4) 環境省：環境省報道発表資料：平成 25 年度大気汚染状況について（有害大気汚染物質モニタリング調査結果報告），平成 27 年 3 月 31 日

# 宮城県沿岸閉鎖性海域における貧酸素水塊発生状況の把握 (第1報)

## Hypoxia in the Enclosed Coastal Seas of Miyagi Prefecture (1)

千葉 文博 福地 信一 牧 秀明\*1 波岡陽子 赤崎 千香子 佐藤千鶴子 泉澤啓\*2  
Fumihiro CHIBA, Shinichi FUKUCHI, Hideaki MAKI\*1, Yoko NAMIOKA,  
Chikako AKASAKI, Chizuko SATO, Kei IZUMISAWA\*2

近年、貧酸素水塊による水産業への被害が懸念されており、現在、環境省にて貧酸素水塊の指標である底層溶存酸素量の環境基準化にむけて検討が進められていることから、県内の底層溶存酸素状態の調査を多項目水質計を用いて行った。

貧酸素水塊は閉鎖性海域で好発することが知られており、調査地点は、県内の閉鎖性海域のうち、養殖業が盛んである気仙沼湾と志津川湾とした。また、調査時期は貧酸素水塊が発生しやすい夏期と終息する秋期とした。調査の結果、気仙沼湾・志津川湾いずれにおいても夏期の湾奥部周辺で貧酸素状態が確認され、貧酸素水塊が発生していたことが示唆された。なお、これらの貧酸素水塊は秋期には終息していたことから、季節的なものである可能性が示唆された。

キーワード：閉鎖性海域；貧酸素水塊

*Key words : enclosed coastal sea ; dysoxic water mass*

### 1 はじめに

貧酸素水塊とは、水中における溶存酸素量(DO)が極端に少ない領域の事を指し、魚介類へい死や青潮など水生生物の生息や海域環境全体へ影響を与える可能性がある<sup>1)</sup>。

環境省では「生物にとっての住みやすさ」を視点に入れた、貧酸素水塊の指標となる底層 DO を新規環境基準項目として導入することを検討している<sup>2)</sup>。

全国的に貧酸素水塊に関する調査報告がされており、県内においても、いくつか報告されている<sup>3),4)</sup>。しかし、平成23年3月11日に発生した東日本大震災により海底状況等にも大きな変化があったと考えられ、底層 DO も含め、さらなる詳細調査が必要とされている。

そこで本研究では、多項目水質計を用いて、県内の主な湾内の貧酸素水塊発生状況を把握するための調査を実施することとした。

### 2 調査地点および調査方法

#### 2.1 調査地点および調査日

本研究は、宮城県内の閉鎖性海域のうち、特に養殖業が盛んである気仙沼湾・志津川湾を調査した。調査は貧酸素水塊が発生しやすい夏期と終息する秋期の2回実施した。それらの地理的分布状況および調査日を図1に示す。

各湾内の調査地点は、潮の流れなどを考慮し、湾内を約1~2 km 間隔で測定した。

#### 2.2 調査方法

船上より湾内の各地点において多項目水質計を使用し、水質の鉛直分布調査を行った。多項目水質計は、「HydroLAB Datasonde 5」を用い、各地点での測定結果は、平面・断面図解析ソフトウェア「HydroGraph2」を用いて解析を行った。

測定項目は、貧酸素状態の判定に用いる DO の他、pH、塩分、水温、クロロフィル a、濁度とした。

なお、貧酸素状態の判定は生物に何らかの影響が出る<sup>5)</sup>とされ、水産用水基準<sup>6)</sup>で「内湾漁場の夏期底層において最低限維持しなくてはならない溶存酸素」として定められている DO 値 4.3mg/L とした。



図1 調査地点および調査実施日

### 3 結果

#### 3.1 気仙沼湾

気仙沼湾は北側が湾奥側となり、東から南にかけて外洋と接している。今回の調査範囲は湾内全域を対象とした。結果を図2および図3に示す。

この結果は、湾内の海底付近の DO 値を凡例によっ

\*1 国立環境研究所 \*2 現 仙台保健福祉事務所岩沼支所

て示したものである。

今回の調査では、夏期の St.1, St.2, St.11 の 3 地点の最下層で DO 約 3.0 mg/L となり、貧酸素状態が確認された。また、秋期の調査では、いずれの地点においても DO 4.3 mg/L を下回ることにはなかった。この結果より、気仙沼湾の貧酸素状態は季節的なものである可能性が示唆された。

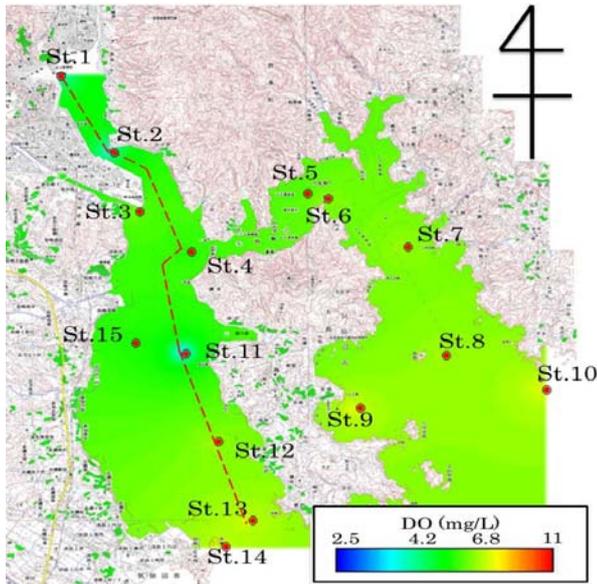


図 2 気仙沼湾 夏期における底層 DO の水平分布

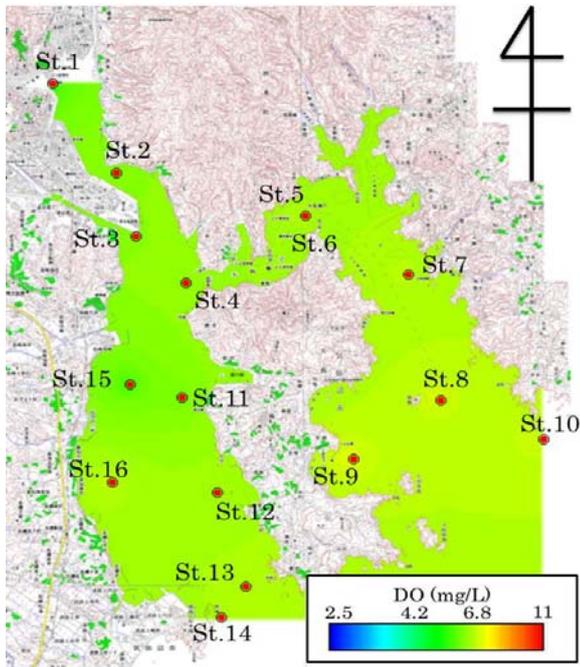


図 3 気仙沼湾 秋期における底層 DO の水平分布

また、湾奥から湾口の垂直方向の DO の分布を把握するため、図 2 破線で示したラインに沿った水質の断面分布を図 4 に示す。この結果から、まず、貧酸素水塊は各測定地点の海底付近に局在している事が確認された。さらに、St.1 付近の表層クロロフィルが高値を示していることと、湾内全域に躍層が形成されていることが確認できる。これらのことから、今回の貧酸素状態は湾奥側の鉛直循環の弱さや底質による酸素消費に加え、

St.1 付近の表層プランクトンの増殖により、底層まで日光が届かなかったこと、それらが底層に沈降して分解される時に DO を消費すること、および、躍層による鉛直混合の阻害が発生要因の一つと考えられる。

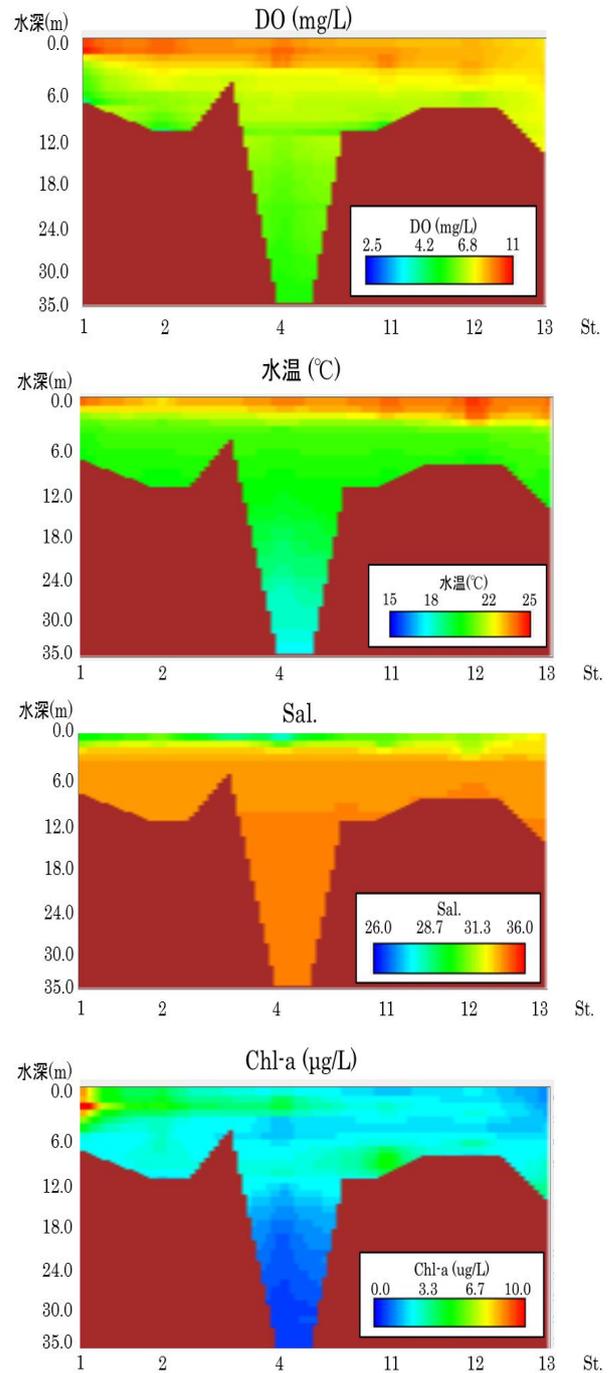


図 4 気仙沼湾 夏期 断面分布図

### 3.2 志津川湾

志津川湾は西が湾奥側となり、東側が外洋と接している。今回の調査では波が高かったこともあり、志津川湾のうち、図5中の枠の範囲内のみの調査となった。その調査結果を図6および図7に示す。この結果も気仙沼湾と同様に、湾内の海底付近のDO値を凡例によって示したものである。

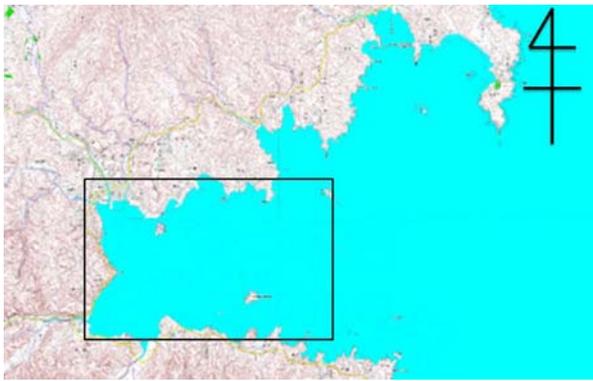


図5 志津川湾調査範囲

このときの調査では、夏期のSt.8, St.9, St.10, St.11, St.12の5地点でDO 3.0~3.5 mg/Lとなり、貧酸素状態が確認された。このことから、貧酸素水塊が湾奥側で発生していたと考えられる。また、秋期の調査では、いずれの地点においてもDO 4.3 mg/Lを下回ることにはなかった。この結果より、志津川湾での貧酸素状態も季節的なものである可能性が示唆された。

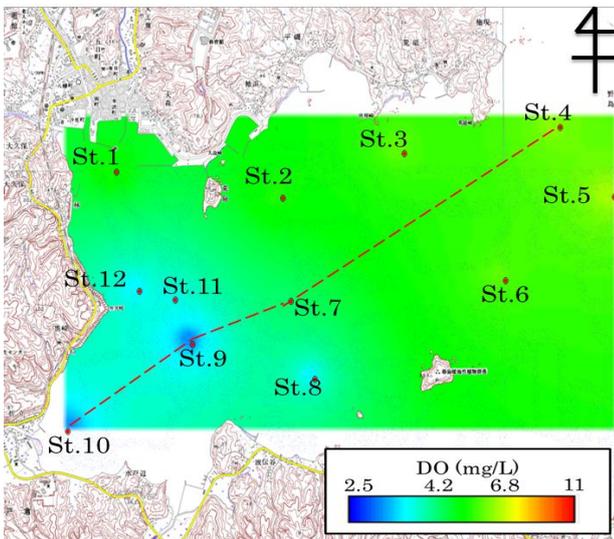


図6 志津川湾 夏期における底層DOの水平分布

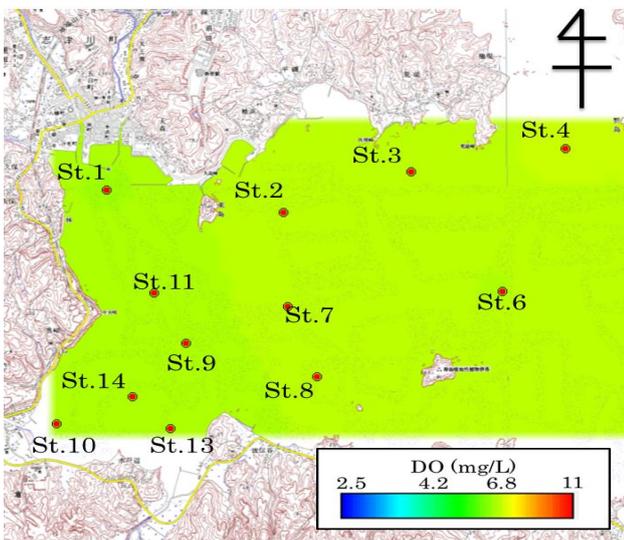


図7 志津川湾 秋期における底層DOの水平分布

また、気仙沼湾と同様に、夏期の結果にある破線で示

したラインに沿った断面図による解析結果を図8に示す。この結果より、調査範囲全域に広がる水温躍層と、St.9からSt.7にかけての水深6 m以上でクロロフィルの上昇が確認された。これにより、湾奥に広がる貧酸素水塊は、水温躍層による鉛直混合の阻害と有光層より深い箇所が存在する底層プランクトンの呼吸が発生要因の一つとして考えられる。

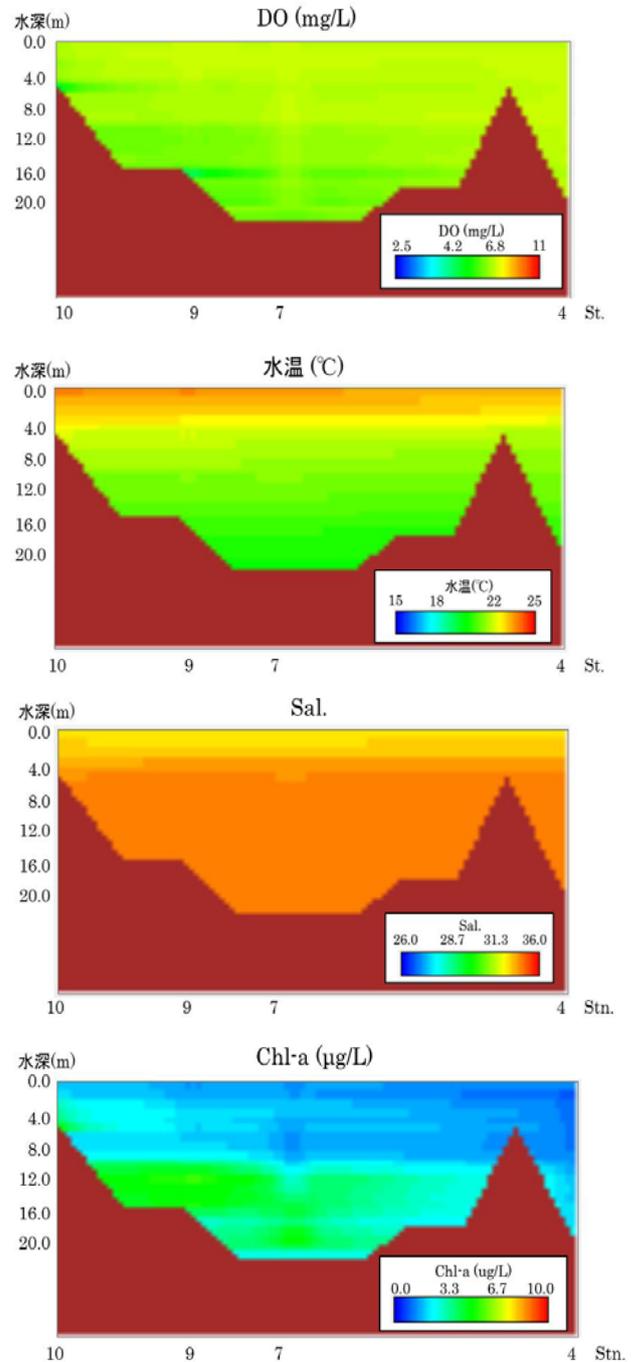


図8 志津川湾 夏期 断面分布図

#### 4 まとめ

(1) 気仙沼湾では、夏期の湾奥部海底付近でDO 約 3.0 mg/L を示す地点が確認され、秋期の調査では DO 4.3 mg/L 以下を示す地点は確認されなかったことから、この湾の貧酸素状態は季節的なものであると考え

られる。

- (2) 気仙沼湾の断面図による解析の結果、湾内全域に塩分躍層の形成と、湾奥表層にクロロフィル a の増加が確認されたことから、底質等による酸素消費などに加え、プランクトンの呼吸も貧酸素状態形成の一因であると考えられる。
- (3) 志津川湾では、夏期の湾奥部海底付近で DO 3.0～3.5 mg/L を示す地点が確認され、秋期の調査では DO 4.3 mg/L 以下を示す地点は確認されなかったことから、この湾の貧酸素状態も季節的なものであると考えられる。
- (4) 志津川湾の断面図による解析の結果、調査範囲全域に水温躍層の形成と、湾奥側水深 6 m 以上でのクロロフィルの増加が確認されたことから、鉛直混合の阻害やプランクトンの呼吸による酸素消費などが、貧酸素状態を引き起こす一因であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 今後の閉鎖性海域対策を検討する上での論点整理：今後の閉鎖性海域対策に関する懇談会，環境省(2007)
- 2) 下層溶存酸素及び透明度の環境基準に係る検討の背景：環境省
- 3) 伊藤博：気仙沼湾における貧酸素水の発生状況と底質の経年変化，宮城水産研報，第8号(2008)
- 4) 野村宗弘，千葉信男，徐開欽，須藤隆一：志津川湾における貧酸素水塊の形成，沿岸海洋研究，第33巻，第2号(1996)
- 5) 丸茂恵右，横田瑞郎：貧酸素水塊の形成および貧酸素の生物影響に関する論文調査，海生研研報，第15号(2012)
- 6) 水産用水基準(2005年版)：社団法人 日本水産資源保護協会