

도시 大氣중 수은 농도

京仁지역을 중심으로

孫 東 憲·趙 冠 英·韓 龍 文

中央大學校 藥學大學

(Received September 27, 1986)

Mercury Concentration in Urban Ambient Air

—Based on the Data acquired from Incheon and Seoul—

Dong Hun Sohn, Kuan Young Cho and Yong Moon Han

College of Pharmacy, Chung-Ang University, Seoul 150, Korea

Abstract—Atmospheric mercury was collected by gold amalgamation method and analyzed by cold flameless atomic absorption spectrometry. The distribution of atmospheric mercury was investigated at seven location (rural I, II, industrial I, II, University and the center of urban) The amount of atmospheric mercury collected at the rural area I (Mt. Seolack) ranged from 0.7 to 1.8ng/m³, and mean value was 1.2ng/m³ (n=4), at the rural area II (Buyeo) ranged from 0.8 to 5.1 ng/m³, and mean value was 2.0ng/m³ (n=8), at the area of the center of urban (Jong-ro 3 Ga, Seoul) ranged from 22.7 to 43.1ng/m³, and mean value was 35.1ng/m³ (n=12), at the residential area I (Galak Dong, Seoul) ranged from 2.2 to 5.1ng/m³, and mean value was 3.5 ng/m³ (n=6) at the Chung-Ang University (Heukseok Dong, Seoul) ranged from 2.2 to 176.2 ng/m³, mean value was 36.8 ng/m³ and median value was 16.0 ng/m³ (n=188), at the residential area II (Goowal Dong, Incheon) ranged from 6.4 to 20.7 ng/m³, and mean value was 13.1 ng/m³ (n=10), and at the industrial area (Songhyun Dong, Incheon) ranged from 13.9 to 88.3 ng/m³, and mean value was 38.9 ng/m³ (n=12). The behavior of atmospheric mercury concentration at Chung-Ang University showed high in day time and summer, but low in night-time and winter.

수은은 1953년경 日本 水俣灣 沿岸에서 수은에 오염된 어패류를 다량 섭취한 주민들에게 심각한 중추신경장애를 일으키는 유기수은 중독증상이 집단적으로 발생하여¹⁾ 세상의 이목을 집중시킨 이래로 水圈 및 음식물 등, 일반 환경시료 중의 수은농도에 대하여 많은 연구가 이루어졌다.²⁻⁸⁾

그러나, 수은은 높은 증기압을 가지고 있어, 자연상태에서도 가스상태로 되어 대기권을 순환하고, 햇빛 등에 의하여 유기수은으로 변환될 수 있음에도⁹⁾ 불구하고, 대기중의 수은농도에 대하여는 1976년 WHO가 “작업인에 대한 노동위생기준(50 μ g/m³)”과 “일반환경기준(15 μ g/m³)”만을 정하였을 뿐, 환경오염의 입장에서 조사된 보고는 우리나라에서는 거의 없다.

대기중에 존재하는 수은의 발생원은 화산폭발

등 자연기원의 것과, 인위적인 것으로 대별할 수 있으나 이들 중 어느 편이 큰 영향을 미치는가는 자연 기원발생원의 측정이 곤란하기 때문에 명확하지 않다.

인위적인 발생원은 에너지원으로서 그 사용량이 증가하고 있는 화석연료의 연소에 따라 함유되어 있는 수은이 대기중으로 방출되는 것들 수가 있으며, 화석연료중의 수은의 농도는 Darryl등¹⁰⁻¹⁴⁾에 의하면, 석탄에 0.05~0.44ppm, 중유에 0.05~0.046ppm, 휘발유중에 0.01ppm 정도의 수은이 함유되어 있다고 하며, 이들을 연소시킬 때 약 90% 이상의 수은이 대기중으로 방출되어 매년, 전 세계적으로 1,200여 ton의 수은이 방출되고 있다.¹²⁾

그럼에도 불구하고 대기중 수은농도에 대한 연구보고가 적은 것은 초미량원소인 수은의 분

석법, 특히 포집방법에 검토의 여지가 남아있기 때문이라고 생각된다. 현재까지도 표준화된 포집방법은 없으며, 황산산성-과망간산칼륨을 이용한 습식법이 사용되어 왔지만,¹⁵⁾ 이 방법은 시료의 장시간 연속포집이 어렵고, 사용시약으로부터 수은의 혼입과 분석수준의 번잡으로 인하여 대기중의 수은을 포집하는 방법으로는 적합하지 않다.

최근, 小林,⁸⁾ 松本,¹⁵⁾ 中川,¹⁶⁻¹⁹⁾ Fitzgerald,²⁰⁾ 등에 의하여 수은이 金과 아말감을 형성하고, 이 수은 아말감은 일정온도 이상에서 진탕 가스상 수은으로 분리되는 물리화학적 특성을 이용한 포집방법을 채택하여 좋은 결과를 얻고 있다.

대기중 수은농도 및 인체에 미치는 영향 등에 대하여는 아직 명백하게 밝혀져 있지 않기 때문에 어떤 규제조치가 취해지지는 않고 있다. 그러나 석탄, 석유등의 사용이 증가하고 있으며, 건전지, 형광등, 체온계 등에 함유되어 있는 수은이 환경을 오염시키고 있으며, 이들 폐기물의 소각에 의한 대기중으로의 수은 방출도 급후 염려하여야 할 문제이다.

따라서, 현단계에서 대기중 수은의 지구화학적 background치를 구하는 것은 급후 인위적 수은오염의 실태를 파악하기 위한 기초자료를 얻는 것이 된다.

외국에서는 대기중의 수은농도에 대한 연구가 있지만, 우리나라에서는 아직 한편도 없기에 저자는 금 아말감포집-무염원자흡광분석법을 이용하여 서울시 대기중 수은농도를 측정하고, 약간의 지견을 얻었기에 이에 보고한다.

실 험 방 법

시약 및 기기— $\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 는 Wako화학제품을 사용하였고 Chromosorb A는 Sigma 화학제품을 사용하여 포집관을 제작하였으며, Sibata 화학의 MP-50NC형 low volume air sampler와 Shinagawa Seiki사의 NWK-1A형 습식 gas meter를 이용하여 시료를 포집하였고, 분석은 원통형 연소로와 杉山元醫理器의 MV-253 mercury vaporometer를 사용하여 행하였다.

수은포집관의 제작—Chromosorb A (40~60 mesh) 100mg당 1mg의 $\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 를 가하여 sand bath상에서 건조시키면서 균일하게 한 후, 전기회화로에서 800°C로 60분간 가열환원시켜 Chromosorb A의 표면에 金을 코팅시킨 것을 포집제로 하였으며, 이를 내경 6mm, 길이 130mm의 석영관 또는 파이렉스관에 넣고 그 양 편에 석영 wool을 넣어 막아 수은포집관을 만들었다. 이 포집관을 수은을 제거한 O_2 가스를 통과시키면서 800°C로 3분간 강열하여 수은을 제거한 후 냉각하여 양 편을 테프론 필름으로 밀봉하고, 시료 채취 직전에 개봉하여 사용하고, 채취 직후 즉시 밀봉하였다.

시료의 채취—대기중 수은의 포집방법은 low volume air sampler에 수은포집관을 연결하고 needle 밸브를 사용하여 흡인 유량을 1l/min으로 고정하고, 장소에 따라 채취시간은 30분부터 24시간까지 조절하여 시료를 채취하였다.

흡인한 유량은 습식 가스메타를 사용하여 ml 단위까지 정확히 측정하였다.

시료의 채취기간 및 장소—대조지역으로 설악산 五色藥水와 충남 부여군 窺岩面 內里를 선택하였으며, 대기중 수은농도의 지역간 차이를 알아보기 위하여 서울 중앙대학교 4개 장소에서

Table I—Sampling site and date.

Site	Date	n	Remark
Mt. Seol ack	85. 8/3~8/6	4	Rural
Buyeo	86. 3/23~3/25	8	Rural
Jong ro	86. 4/12~4/13	12	The center of urban
Galak Dong	86. 3/28~3/29	6	Residential
Heuk seok Dong	85. 9/21~86. 4/8	188	Chung-Ang Univ.
Inchon I	85. 8/10~9/7	10	Residential
Inchon II	86. 1/7~1/18	12	Industrial
Laboratory	85. 10/26~10/27	13	Inside Building
Drug store I	86. 3/1~3/2	4	Inside Building
Drug store II	86. 3/6~3/10	5	Inside Building
Drug store III	86. 3/21~3/22	6	Inside Building
House I	86. 3/4~3/5	4	Inside House
House II	86. 3. 27	5	Inside House

시료를 채취하였으며, Table I에 시료의 채취기간, 장소를 표시하였다.

수은의 분석방법—시료 채취를 완료한 수은포집관을 수은분석기 외부에 별도로 장치한 원통형 연소로에 장착하고, carrier 가스로 O₂를 통과시키면서 800°C로 3분간 강열하였다. 이때 아말감 상태의 수은이 완전히 증기상태의 수은으로 분리되며, 이 수은증기를 수은분석기 내의 흡수 cell에 도입시켜 253.7nm의 파장에서 흡광도를 측정 한 후, 절대검량선법을 이용하여 수은의 농도를 구하였다.

검량선의 작성—기체상태의 수은을 정량하기 때문에 표준품으로 포화수은증기를 사용하였다.²³⁾ 금속수은은 약 5g을 1l용량의 테프론재 용기에 넣어 온도계를 부착하고 밀전한 다음, 이 용기에 포화된 수은증기를 gas tight 주사기를 사용하여 일정량을 채취, 수은분석기에 주입한 다음, 수은분석법에 따라 분석하여, 절대검량선법에 따라 검량선을 작성하였다.

실험결과 및 고찰

대조지역 (I) —산간지역—대조지역으로 인위적 오염원이 없는 설악산 국립공원 五色藥水 부근의 계곡에서 MP-50NC형 low volume air sampler를 사용하여 시료를 채취하였으며 그 결과 대기중 수은농도의 범위는 0.7~1.8 ng/m³이었고 평균치는 1.2 ng/m³ (n=4)이었다.

대조지역 (II) —농촌지역—대조지역 (I)과 같은 방법으로 농촌의 야산에서 시료를 채취하여 분석한 결과 수은농도의 범위는 0.8~5.1ng/m³이었고 평균치는 2.0ng/m³ (n=8)이었다.

측정 결과는 Table II에 표시하였다.

일본 환경청이 실시했던 전국조사에서 田園지

Table II—Total mercury concentration in rural atmosphere.

Site	n.	Hg concentration (ng/m ³)		Remark
		Range	mean	
Mt. Seolack	4	0.7~1.8	1.2	Summer
Bu yeo	8	0.8~5.1	2.0	Spring

역에 대한 평균치는 2.5ng/m³이었으며,²¹⁾ 松本,²²⁾ 등은 background 지역에서 1.87ng/m³~3.87ng/m³의 대기중 수은농도를 보고하고 있으며 Slemer²³⁾ 등은 일반적으로 5ng/m³이하라고 보고하고 있다. 또 福崎²⁴⁾ 은 육상의 지표부근에서는 2~3ng/m³가 대기중 수은농도의 background 치라고 하며, 상공이나 해양대기중에는 이보다 더 낮은 치라고 한다.²⁵⁾

Table II에 표시한 것처럼 우리나라에서도 1~2ng/m³의 값을 보이고 있으므로 대조지역에서의 수은의 농도는 일본과 비슷하며, 일반적으로 특별한 자연환경이 아니고 인위적인 오염원이 없는 지역의 대기중 수은농도는 5ng/m³ 정도라고 보여진다.

도시지역 (I) —도심지역 (종로 3가)—서울시내 중심가인 종로 3가에서 시료를 채취하였다. 채취지점은 차도에서 약 5m 떨어져 있고, 음식점들이 밀려 있는 장소이며, 지상 3m의 높이에서 채취하였다. 측정 결과 대기중 수은의 농도범위는 22.7~43.1ng/m³이었고, 평균치는 35.1ng/m³이었다. 이것은 대조지역에 비해서 약 17.5~29배의 높은 수은농도로서 채취지점이 다른 지역에 비해 교통량이 많고 음식점들이 노상에서 사용하는 연탄화덕에서 발생하는 수은의 영향을 받았기 때문이라고 생각한다.

도시지역 (II) —주택지역 (가락동, 서울)—서울 강동구가락동 아파트단지내에서 시료를 채취하였다. 채취지점은 차도로부터 약 100m 떨어져 있고, 지상 3m 높이의 장소이다. 대기중 수은농도의 범위는 2.2~5.1ng/m³이고 평균치는 3.5ng/m³이었으며 대조지역과 차이는 거의 없었다.

도시지역 (III) —주택지역 (중앙대학교, 서울)—서울 동작구 흑석동의 중앙대학교 약학대학 옥상에서 188개의 시료를 채취하였다. 측정 결과, 수은농도의 범위는 2.2~176.2ng/m³, 평균치는 36.8ng/m³이었으나 중앙치는 16.0 ng/m³이었다. 포집시간은 대기중 수은농도의 시간변화를 알아보기 위하여 108例는 1시간 간격으로, 나머지 80例는 주간(09:00~18:00)과 야간(10:00~09:00)으로 구분하였다.

도시지역 (IV) —주택지역 (구월동, 인천)—포집

Table III—Total mercury concentration in urban atmosphere.

Site	n.	Hg concentration			Remark
		range	mean	median	
(Seoul)					
Jongro 3 Ga	12	22.7~43.1	35.1	35.8	The center of urban
Galak Dong	10	2.2~5.1	3.5	3.7	Residential
Chung-Ang Univ.	188	2.2~176.2	36.8	16.0	Residential
(Inchon)					
I. Goowal Dong	10	6.4~20.7	13.1	12.0	Residential
II. Songhyun Dong	12	13.9~88.3	38.9	43.5	Industrial

지점은 인천의 해안에서 약 5km 떨어진 신흥 주택지역으로서 시료채취에 직접적인 영향을 미치는 인위적인 오염원은 없었다. 측정 결과, 수은농도의 범위는 6.4~20.7ng/m³이었으며 평균치는 13.1ng(n=10)이었다.

도시지역(V)—공업지역(송현동, 인천)—인천시 송현동 소재의 대규모 제철공장에서 약 100m 떨어진 장소에서 시료를 채취하였으며, 지상 3m

높이의 지점에서 행하였다. 측정 결과, 대기중의 수은농도의 범위는 13.9~88.3ng/m³이었으며 평균치는 38.9ng/m³, 중앙치는 43.5ng/m³이었다. 대조지역에 비해 19~33배의 농도를 나타내고 있으며, 이는 주택 및 제철소에서 배출되는 배기가스의 영향이라고 생각된다. 이상의 결과를 Table III에 표시하였다.

中川¹⁹⁾ 등은 千葉市の 대기중 수은농도의 범

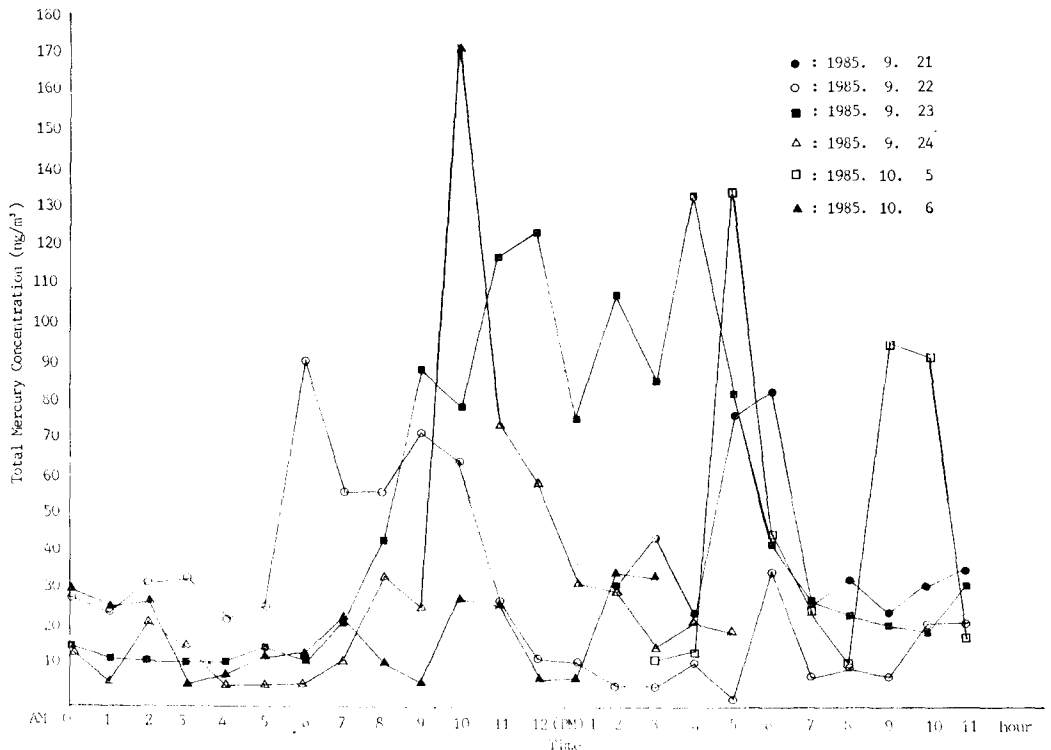


Fig. 1—Time variation of total mercury concentration (1985. 9/10~9/24, 10/5~10/6).

Table IV—Total mercury concentration in the atmosphere of Chung-Ang university.

Season	Hours	n.	Hg Concentration (ng/m ³)		Remark
			range	mean	
Summer	Day time	34	2.2~170.8	52.9	1985. 9
	Night time	42	4.3~96.5	26.7	1985. 9
Winter	Daytime	42	5.4~36.7	13.8	1985. 12
	Night time	38	2.3~18.8	9.1	—1986. 4

위를 5~65ng/m³, 평균치를 15ng/m³라고 보고 하고 있으며, 河邊²⁶⁾ 등에 의하면 東京 시내 대기 중의 수은농도는 2~17ng/m³의 범위이었고, 일본 해안지역에서 채취한 결과, 수은농도는 2~190ng/m³, 평균치는 41.0ng/m³(n=15)이라고 中川¹⁷⁾이 보고 하고 있으나, 東京, 橫濱, 千葉의 공업단지의 영향을 받았을 지도 모르는 異常值 3개를 제외한 평균치는 17.9ng/m³으로서 전체적으로 보면 우리나라와 비슷하였다.

대기중 수은농도의 경시변화—1985년 9월 22일부터 24일까지, 10월 5,6일 그리고 동년 12월 11일부터 1986년 4월 8일까지 중앙대학교 약학대학 옥상에서 시료를 채취하여 분석한 결과를 Fig. 1. 와 Table IV에 표시하였다.

Fig. 1. 와 Table IV의 결과로 보아 대기중의 수은농도는 기온상승에 따라 주간에는 평균농도도 높아지고, 최고치를 나타내고 있으며 야간에

는 기온하강에 따라 평균농도도 낮아지고 최저치를 나타내고 있다. 또한 전반적으로 기온이 높은 여름이 겨울보다 3배 정도로 높은 농도를 나타내고 있다.

中川¹⁷⁾ 등에 의하면, 일본 神奈川縣에서 1981년 1월 1일부터 1월 4일까지와 동년 5월 3,4일 주간과 야간에 각각 대기중의 수은농도를 측정 한 결과, 야간에는 1~4ng/m³으로 Background 치와 같지만, 주간에는 200~800ng/m³으로 높아져 야간의 50~800배가 되며, 다른 도시대기 중의 농도보다 현저하게 높은 수치를 보고 하고 있다. 중앙대학교 옥상에서 여름과 겨울, 각각 주, 야간에 나누어 측정한 결과는 심하지는 않지만 晝高夜低 현상을 뚜렷하게 나타내고 있다.

건물내에서의 수은농도—중앙대학교 약학대학 환경위생학 연구실내의 4개의 방과, 임의로 선택한 약국 3개소, 주택 2개소의 실내 수은농도를 측정한 결과는 Table V에 표시하였다.

측정 결과를 보아 연구실 및 실험준비실이 교수실에 비하여 5.6~8.3배나 높은치를 보이는 것은 수은분석장치의 가동과 수은표준용액 제조시 금속수은 등에 의하여 실내 대기가 오염되었기 때문이라고 생각된다.

또한 약국 I 과 II에서는 석유난로를 이용하여 난방중일때 시료를 채취하였으며 약국 III은 난방시설이 가동되지 않는 상태에서 시료를 채

Table V—Total mercury concentration in buildings.

Site	n.	Hg Concentration(ng/m ³)		Remark
		range	mean	
1. Laboratory room No. 317	4	272.8~505.6	369.1	Mercury analyzer
2. Prof.'s room No. 318	3	49.1~ 98.7	66.0	
3. Laboratory room No. 319	3	465.6~618.0	545.1	Preparation of the Hg standard sol. etc.
4. Student's lab. room No. 320	3	190.0~321.3	249.4	
5. Drug store I	4	14.0~ 34.4	26.1	
6. Drug store II	5	18.2~ 49.6	28.4	
7. Drug store III	6	8.2~ 12.3	10.1	
8. House I	4	23.2~ 31.8	26.7	
9. House II	5	8.7~ 12.2	10.2	

*1~4 : College of Pharmacy, Chung-Ang University

취하였다.

中川²⁷⁾에 의하여 건물내 수은의 농도는 46~128ng/m³의 수치를 보고하고 있으며 Foote²⁸⁾ 등은 5~5,650ng/m³의 수치를 보고하고 있다.

수은은 높은 증기압을 갖고 있는 금속이므로, 실내에서 형광등이나 체온계, 실내 온도계를 깨뜨릴 경우, 새로 페인트를 칠했을 경우 실내공기는 수은증기로 포화될 위험성이 있으므로 주의하여야겠다.

한편, 미국 노동부는 1971년 수은폭로의 최대 허용농도(MAC)를 100μg/m³(25°C)로 정하고 있으며, 미국 공업위생감독관회의 ACGIH)의 권고치는 40노동시간에 대하여 50μg/m³ (alkyl Hg는 제외)이고, 피부접촉의 위험성이 있는 금속 수은증기와 같은 경우는 10μg/m³로 하고 있다. 유기수은에 대한 ACGIH의 TLV는 10μg/m³이다.²⁹⁾

불가리아, 동독, 헝가리, 소련, 유고슬라비아 등에서 소위 환경기준치에 상당하는 1일 평균치는 0.3μg/m³이고, 이스라엘, 루마니아 등에서는 1μg/m³이다.³⁰⁾

결 론

금 아말감포집·무염원자흡광분석법을 이용하여 7개 지점의 대기중 수은농도 및 실험실 등 일반 건물내 6개 지점의 실내 공기중 수은농도를 측정하였다.

1. 산간지역(설악산)의 대기중 수은농도의 범위는 0.7~1.8ng/m³이었으며, 평균치는 1.2ng/m³(n=4)이었다.

2. 농촌지역(부여)의 대기중 수은농도의 범위는 0.8~5.1ng/m³이었으며, 그 평균치는 2.0ng/m³(n=8)이었다.

3. 서울 도심지역(중구, 종로 3가)의 대기중 수은농도의 범위는 22.7~43.1ng/m³이었으며, 그 평균치는 35.1ng/m³ (n=12)이었다.

4. 서울 주택지역 중 강동구 가락동의 대기중 수은농도의 범위는 2.2~5.1ng/m³이었으며, 그 평균치는 3.5ng/m³(n=6)이었고, 동작구 흑석동 중앙대학교에서는 2.2~176.2ng/m³의 범위

에 있었으며, 평균치는 36.8ng/m³, 중앙치는 16.0ng/m³이었다. (n=188)

5. 인천 주택지역중 남구 구월동의 대기중 수은농도는 6.4~20.7ng/m³의 범위에 있었으며, 평균치는 13.1ng/m³이었다. (n=10)

6. 인천 공업지역중 동구 송현동의 대기중 수은농도는 13.9~88.3ng/m³의 범위에 있었으며, 그 평균치는 38.9ng/m³ (n=12)이었다.

7. 중앙대학교 약학대학에서 수은농도의 경시 변화를 측정할 결과여름 주간의 수은농도는 평균 52.9ng/m³(n=34), 같은 기간 야간은 26.7ng/m³(n=42)이었으며 겨울의 수은농도는 주간이 평균 13.8ng/m³ (n=42), 야간은 9.1ng/m³ (n=38)이었다.

문 헌

- 1) 有馬澄雄：水俣病，20年の研究と合日の課題，青林舎，日本(1979).
- 2) 中川良三：降水中における pH と水銀の挙動，千葉大學環境科學研究報告，10，15-18 (1984).
- 3) 下川洪乎，加藤邦夫，渡邊憲人：河川の底質の重金屬について，衛生化學，29，45-62，(1983).
- 4) 近藤雅臣：動植物性食品中の水銀含有量，衛生化學，20，47-66，(1984).
- 5) 山田耕一郎，上田榮次：水銀鑛山の閉山にする魚の水銀蓄積量變化，衛生化學，24，207-211，(1982).
- 6) 白井文雄：魚肉中總水銀濃度分析上の問題點普通肉と血合肉の水銀濃度差について，日本公衛誌，28，547-551 (1981).
- 7) 坂元準雄，鎌田政明：環境試料中の超微量水銀定量 日本化學會誌，1，32-39 (1981).
- 8) 小林禧樹，渡邊弘：雨水中における水銀の挙動，大氣汚染學會誌，19，276-282，(1984).
- 9) 瀧澤行雄，藤井正美：人間環境における水銀の挙動に關する研究(Ⅰ)，日本公衛誌，9，23，(1976).
- 10) Lehmden, D.J., Jungers, R.H. and Lee, R.E., Jr.: Determination of Trace Elements in Coal, Fly Ash, Fuel oil and Gasoline-A Preliminary Comparison of Selected Analytical Technique, *Anal. Chem.*, 46, 239-245, (1974).
- 11) 玄基源，崔哲豪，池明求，孟英鎮：市販煙炭中の總水銀含量에 關한 研究，中央大學校 藥大學報，

- 26, 77-80, (1982).
- 12) 藤井正美：氣圈における水銀，日本公衛誌，**23**，501-508，(1976).
- 13) Joensuu, O.I.: Fossil Fuels as a source of Mercury Pollution, *Science*, **172**, 1027-1028 (1971).
- 14) 谷田幸次，福田洋之，星野宗弘：金アマルガム・冷原子吸光法による氣中水銀の連續測定，分析化學，**32**，352-356，(1983).
- 15) 松本光弘，市川博，市村國俊，上田榮次，板野龍光：金アマルガウ法による大氣中の水銀測定，全國公害研究誌，**7**，27-31，(1982).
- 16) 中川良三：都市大氣中の粒子狀水銀濃度とその舉動日本化學會誌，**4**，709-713，(1985).
- 17) 中川良三，立本英機，堀内宣利：大氣中の水銀の舉動に關する研究，千葉大學環境科學研究報告，**9**，16-23，(1984).
- 18) 中川良三：地熱地帯の噴氣および溫泉ガスによって大氣中に放出される水銀量，日本化學會誌，**5**，709-715，(1984).
- 19) 中川良三，立本英機：都市大氣中の水銀の舉動，日本化學會誌，**4**，677-680，(1982).
- 20) Fitzgerald, W.F. and Gill, G.A.: Subnanogram determination and gas phase detection applied to atmospheric analysis, *Anal. Chem.*, **51**, 1714-1720, (1979).
- 21) 佐々木元茂：水銀と大氣汚染問題，生活と環境，**9**，31-35，(1984).
- 22) 松本光弘：一般環境および水銀鑛床地域における大氣中水銀濃度の舉動，大氣汚染學會誌，**18**，66-76，(1983).
- 23) Slemr, F., Seiler, W., Ebering, C. and Roggenndorf P.: The determination of total gaseous mercury in air at background level, *Anal. Chim. Acta.*, **110**, 35-47, (1979).
- 24) 福崎紀夫：大氣環境中の水銀，大氣汚染學會誌，**21**，1-12，(1986).
- 25) Breder, R. and Flucht R.: Mercury levels in the atmosphere of various regions and locations in Italy, *The Science of the Total Environment*, **40**, 231-244, (1984).
- 26) 河邊安男，及川紀久雄，瀧澤行雄，中川良三，大八木義彦：日本における大氣水銀分布量調査，日環セ所報，**3**，62-68，(1976).
- 27) 中川良三：環境に關する水銀分析とその検討，PPM，**7**，18-27，(1978).
- 28) Foote, R.S., Mercury vapor concentrations inside Buildings, *Science*, **177**, 513-514, (1972).
- 29) 日本化學會編，水銀，p. 210-211，丸喜株式會社，東京，(1977)
- 30) Stern, A.C.: *Air Pollution*, 3rd ed, Vol. V., p. 475, Academic press, U.S.A. (1977).