チリ共和国の環境問題と関連機関の訪問

小田 淳子

岡山県環境保健センター
(〒701-02 岡山市内尾739-1)

[平成 6 年 3 月 7 日受理]

Environmental Problems in Republic of Chile and Visit to Environmental Institutes

Junko ODA

Okayama Prefectural Institute for
Environmental Science and Public Health
(739-1 Uchio, Okayama 701-02)

[Received March, 7, 1994]

Summary

I visited Chile to inspect the environmental situation and several institutes from 13th to 30th November 1993 by support from the Okayama Prefectural Overseas Studying System. I introduce the environmental problems, government policies and the actual circumstances of environmental studies in several institutes in Chile.

はじめに

多くの人々にとって、チリ共和国の環境問題についての情報は少ない。現在チリの首都サンティアゴは、著しい近代化と地形的な理由によって激しい大気汚染が進行している。今日の日本は、環境汚染を抱える開発途上国に対して海外援助の一貫として環境問題の解決のため多くの技術的援助を行っている。チリにおいても環境問題が急務の解決を迫られている状況の中で、日本と協力して日本の国や地方自治体が有するような環境分野の試験研究施設を設立するための準備が進められている。著者は岡山県の海外研修制度を利用して、1993年11月13日～11月30日までチリ共和国を訪問し、環境問題にかかわる検査研究機関の人々と交流を深めながらサンティアゴ市の大気汚染に代表されるチリの環境事情に触れることができたので、その概要を紹介する。

1 チリの環境問題の現状と対策

1. 1 チリの直面する環境問題

チリは南北の長さ4,270kmに対して、東西の幅は平均

わずか180kmという南北に極めて細長い地形を有している (Fig.1)。面積は75万6945km²で日本の約2倍、人口は1339万人 (1991年) で日本の約1/10にあたる。時差は夏時間で日本より丁度12時間遅れとなる。

チリは、首都サンティアゴがある首都圏州と第1から第12州までを合わせて13の州により構成されている。起伏に富むチリの地形は北部、首都圏州、南部と大きく3つに分かれ、それぞれ異なる環境問題を抱えている。国際協力事業団JICAが行った調査によると、チリの環境問題を都市環境問題と自然環境問題に分類して、次のように報告している。まず温帯地域で人口の多い首都圏州を始めとする中央部では、都市環境問題として水質汚濁、大気汚染、廃棄物や有害物質の処理等の都市型公害問題が多くあげられる。北部チリでは砂漠化の進行や海洋生物資源の枯渇化、鉱山からの公害による水質汚濁・土壤汚染等があり、南部チリでは森林資源の伐採による動植物種の減少・破壊がおこり、湖沼及び湾では水質汚濁問題が顕在化している。全国的な自然環境問題の現状としては、以下のようにまとめている。

・砂漠化の進行

Fig. 1 Map of Republica de Chile

- ・森林火災の防止策の欠如
- ・適切な植林計画の不備
- ・過度の薪の消費による樹木の乱伐と絶滅
- ・天然林の不合理的な開発と破壊
- ・農林地の不適切管理による土壌の侵食の進行
- ・過剰な開発による土地の疲弊
- ・過剰な家畜飼育による土壌の侵食と劣化
- ・エルニーニョ現象による海洋性動植物への影響
- ・加工船による海洋動物（魚、甲殻、軟体動物の類）の過度の捕獲

そこで、チリ政府は4つの環境問題（①自然環境の劣化を防止する為の流域管理、②海岸地域の汚染、③サンティアゴ首都圏の公害問題、④大規模鉱山から生ずる公害問題）を緊急の解決を必要とするものに挙げている。

この中で鉱山からの公害防止については、日本は国際協力の一貫で1976～1982年まで銅製錬開発技術協力事業を行い、1987～1994年にかけては鉱山公害防止技術協力事業における技術協力を実施している。鉱山公害は大気汚染と水質汚濁に分かれる。大気汚染物質は銅製錬所の溶錬排ガス中の二酸化硫黄、二酸化窒素、浮遊粉じん等である。水質汚濁は選鉱排水が問題となるが、水処理は殆ど行われていないのが現状である。最近では高濃度の二酸化硫黄を考慮して鉱山の一部に排煙脱硫装置を設置したが、古い施設が多いためほとんど無処理である。現在、日本の気象協会がこの公害対策のため環境技術協力にあたっている。一方、サンティアゴ首都圏の環境問題の中で、特に大気汚染は南米大都市が共通に抱える問題であるため以下にその詳細をとり上げた。

1. 2 首都圏の大気汚染

1. 2. 1 サンティアゴの大気汚染

サンティアゴ首都圏の大気汚染は全国の環境問題の中で特に深刻である。サンティアゴ市はチリ人口の半数近い約522万人が一極集中する大都市である。市内周辺は2000～5000m級の山脈で囲まれた盆地という地形的な要因と、微風しか生じない気象条件が重なり、ラテンアメリカ地域の中でメキシコシティと並んで大気汚染が著しい。1980年代後半、サンティアゴの東部に位置する山の手Las condes地区は粉じん濃度が最も高く、次に貧しい人々の住む西部Pudahuel地区の濃度が高かった。当時Las condesでは暖房用に薪ストーブを使用する住宅が多く、Pudahuelでは人々の重要な交通手段はディーゼルバスでありこれから発生する大量の粉じんが大気汚染を引き起こす原因とされてきた。現在、サンティアゴは、道路下を地下鉄METROが走るO'HIGGINS (ALAMEDA)通りとMAPOCHO川に沿うBALMACEDA通り及びMATUCANA通りで囲まれる三角（デルタ）地帯が市の中心地区である。この地区は市内の中で、最

も大気汚染の激しい地区となっている。冬季はその盆地状地形と弱風のため低い高度の接地逆転層が生じ易い。このため大気汚染物質が盆地内に閉じこめられて、道路向かいのビルが見えない程の激しいスモッグの日が続く。この時期には、老人や子供は喉の痛み、気管支の異常を訴える者が多い。夏季は、冬季より風があつて一次汚染物質の影響は少ないが、強い日射と高濃度の窒素酸化物やオゾン等によって光化学大気汚染が発生する。これは1970年前後の日本で、光化学スモッグが問題化していた時期と同濃度レベルといわれている。

1. 2. 2 サンティアゴ市の交通事情

サンティアゴの公共の大量輸送手段は、バス、地下鉄、鉄道であるが、市内を走る鉄道路線は、鉱山からサンティアゴ市内に向ける物資の輸送以外に十分な整備が進んでいない。このため人々の主な交通手段として地下鉄沿線以外では、同一料金で市内を縦横に走り多くの路線を持つバスが重要である。全てのバスは市中心地区のデルタ地帯を通り抜けていくため、デルタ地帯の汚染濃度が高くなる原因になっている。また、市内はタクシー等の小型乗用車が狭い車道にあふれて著しい渋滞を来している。これら多くのバスやタクシーは、型式や年式が古く、排出ガス規制を満足する整備が十分に進んでいないため、現在のサンティアゴの大気汚染を引き起こしている。

1. 2. 3 大気汚染のモニタリングの実情

サンティアゴ市内で常時大気汚染のモニタリングを実施している場所は、Fig.2に示した首都圏モニタリングステーション4ヶ所（A, B, C, D station）、郊外のバックグラウンドモニタリングステーション1ヶ所（M station）、気象観測ステーション1ヶ所の計6ヶ所である。各ステーションには一酸化炭素（CO）、二酸化硫黄（SO₂）、窒素酸化物（NO_x）、炭化水素（THC）、オゾン（O₃）、浮遊粒子状物質（SPM）をモニターする自動測定機が設置され電話モデム回線を通じて中央保健所内にある大気汚染モニタリング中央局Environmental Health Service for Metropolitan Region in Santiago-Chileにデータ転送されている。使用している自動測定機と測定スケジュールの状況をTable 1に示した。自動測定機は日立堀場製、BECKMANN製で統一されているが、いずれも10～15年を経た旧機種が多く部品の入手がほとんどできない状況にある。一旦壊れたら修理は元より測定不能状態が出ている。

1. 2. 4 サンティアゴの大気汚染濃度

サンティアゴにおける大気汚染事情を示すため、Table 2に1992年1月1日から12月31日までのモニタリング測定における各ステーションのCO、SO₂、O₃、

Fig. 2 Monitoring stations in Santiago

SPM₁₀ (直径 $10\mu\text{m}$ 以下の粒子状物質)の大気中濃度レベルを示した。SPMは岡山県の一般環境大気50測定局の日平均値で1992年 $51\sim 123\mu\text{g}/\text{m}^3$ (平成4年度岡山県の大気概況)であるのに対して、サンティアゴのA～M stationにおける日平均値は $88\sim 118\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、各ステーションとも高いレベルにある。Fig.3(a-h)はBステーションの NO , NO_2 , CO , THC , SPM_{10} , $\text{SPM}_{2.5}$ (直径 $2.5\mu\text{m}$ 以下の粒子状物質), SO_2 , O_3 の同時期の月別平均値による濃度変動を示している。Fig.4は気象項目(温度, 湿度)について月別濃度変動を示す。SPM, CO の月別濃度変動は例年, 各ステーションとも同傾向を示している。 CO , SPM の濃度は3月から上がり始め

て南半球で冬季にさしかかる5, 6, 7月にピークを迎える。5～8月の SPM_{10} は月平均濃度が $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えていたが, 9月中ごろ下がり始めた。入手した1993年の1～8月までのデータにおいても冬季(5～8月)は同結果を示して, しばしば SPM_{10} が日平均値 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高濃度日があった。 CO 濃度は1時間値でみると, $0.2\sim 43.3\text{ppm}$ の高濃度を示す時があり, 汚染物質としての寄与が大きいと考えられる。 O_3 は9月半ばから濃度が上がり始めて夏季の10, 11, 12月頃にピークとなる。夏のこの時期に雲量がおおいと, O_3 濃度は低くなる。1992年では1月に最高濃度を経験したが, 1993年では現在の所10月に高濃度日を認めている。粒子径 10μ

Table 1 The sampling schedule and the sampling time of automatic system used for each pollutant in Santiago

Pollutant	Analyzer	Sampling schedule	Sampling time	Monitoring station
CO	Beckman 866	continuously	1 scan/second	A,B,C,D
	Horiba APMA 300	continuously	5 minutes averages are send to Central Station	M
SO ₂	Beckman 953	continuously	1 scan/second	A,B,C,D
	Horiba APSA 300	continuously	5 minutes averages are send to Central Station	M
	RAC model PV	24hrs. every fourth day	8, 12 or 24hours	A
	DKK japan	continuously	1 hour	A
NO/NO ₂ /NO _x	Beckman 952	continuously	1 scan/second	A,B,C,D
	Horiba APNA 300	continuously	5 minutes averages are send to Central Station	M
O ₃	Beckman 950	continuously	1 scan/second	B,C,D
	Horiba APOA 300	continuously	5 minutes averages are send to Central Station	A,M
THC	Beckman 400	continuously	1 scan/second, 5minutes averages are send to Central Station	A,B,C,D
	Horiba APHA 300	continuously	1scan/second, 5 minutes acumulated data are send to Central Station	M
SPM10	TEOM10 R&P	continuously	30 minutes averages	A
	Horiba APDA 300(β -ray)	continuously	1scan/second, 5 minutes acumulated data are send to Central Station	A,B,C,D,M
SPM10/SPM2.5	Dichotomous	24hrs. period every day	24 hours	A,B,C,D,M
SPM2.5	TEOM2.5 R&P URG head	continuously	30 minutes averages	A
	URG head			

Note : A station: Moneda/Bombero Salas

B station: Providencia/Seminario

C station: Av. La Paz 1003

D station: O'Higgins Park

M station: Avenida Las Condes

This data is provided by Ignacio Olaeta & Yolanda Silva in

Environmental Health Service for Metropolitan Region Santiago-Chile

Table 2 A summary for pollutant concentrations being measured at 5 monitoring stations in Santiago during 1992(1/1-12/31)

Pollutant	Monitoring Data	A station	B station	C station	D station	M station
CO (ppm)	Min. - Max.	0.2-43.3	0.2-37.5	0.2-16.7	0.2-35.9	0.2- 5.8
	(Average)	(3.868)	(4.975)	(2.317)	(3.279)	(0.781)
SO ₂ (ppb)	Min. - Max.	10-200	4-94	4-93	4-566	10-194
	(Average)	(17.187)	(11.482)	(12.079)	(13.103)	(16.166)
O ₃ (ppb)	Min. - Max.	10-147	10-111	10-148	10-151	10-277
	(Average)	(25.763)	(13.408)	(19.380)	(17.654)	(36.249)
SPM10 (ug/m3)	Min. - Max.	25-370	34-298	30-271	31-458	24-197
	(Average)	(115.844)	(110.205)	(110.963)	(117.889)	(87.864)

* Type of data : CO,SO₂,O₃ hourly average(1hour value)
 SPM10 daily average(24hours value)

This data is provided by Ignacio Olaeta & Yolanda Silva in
 Environmental Health Service for Metropolitan Region Santiago-Chile

(a)- Nitric Oxide (ppb)

(e)- Particulate Matter PM10

(b)- Nitrogen Dioxide (ppb)

(f)- Particulate Matter PM2.5

(c)- Carbon Monoxide (ppm)

(g)- Sulfur Dioxide (ppb)

(d)- THC (ppmC)

(h)- Ozone (ppb)

Fig. 3 Concentration of Air Pollutant in Santiago-Chile /1992

Fig. 4 Meteorological Variables Santiago-Chile /1992

m以下のSPMは、これまでにモニターした結果からtotal SPM（月平均値 $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）の約4～5割を占めることが明らかにされているが、このうち $2.5 \mu\text{m}$ 径以下の粒子が5～7割を占めている。これらのデータから伺われるように、サンティアゴの大気汚染で問題とされるものはSPM, CO, O_3 であり、さらにSPM, COの主たる発生源は自動車であることが指摘されている。

1. 3 環境問題の解決への対応

1. 3. 1 チリ政府の取り組み

チリでは工業化の進展による経済活動の首都集中に伴って起こったサンティアゴ市の大気汚染、水・土壌汚染、廃棄物問題等の様々な環境問題に対して、これまで積極的な対策が行われていなかった。そこで政府は環境問題解決の施策として1990年6月に、11の省庁から構成される国家環境委員会Comision Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)を設立し、国内の環境管理体制を作った。11の省庁は①国家財産省、②経済省、③文部省、④公共事業省、⑤農業省、⑥厚生省、⑦工業省、⑧住宅都市計画省、⑨運輸通信省、⑩大統領府、⑪企画協力省から成る。現在、この国家環境委員会を中心とする環境行政機構の強化が急がれており、そのうち重要な業務が環境基本法の成立に向けた原案作りである。このようなチリ政府に対して世界銀行、ドイツ、米国等は環境法制度の確立と中央政府の環境管理能力の強化のため、国際的支援を行っている。

1. 3. 2 首都圏の環境問題への取り組み

政府は深刻なサンティアゴの大気汚染事情に対応する

ため、1990年4月首都圏公害対策特別委員会Comision Especial de Descontaminacion de la Region Metropolitana (CEDRM)を設置して具体的なきめ細かい対策と今後の規制に向けて検討を行っている。暖炉から出るSPMの汚染濃度における寄与率は5～10%と推定されており、現在では、使用する薪ストーブに規制を設けて触媒・フィルター等二次装置を付けたもの以外の使用を禁止している。また、サンティアゴのSPM発生源のうち2/3は周囲の2000～5000m級の山々から植物が少ないため飛散してくる土壌であり、残りの1/3はバス等のディーゼル排ガスやタクシー排ガスに由来する。そこで大気汚染の低減化を図るため、植林化を進めると同時に車の排ガス・粉じん対策が図られている。CEDRMは1992年9月以降販売されるガソリンの新車には排ガス対策用の触媒コンバータを義務づけた。また委員会では本年に至り、これまで運行系統すら定かでなかったバス路線を明確にして、市内中央を避けた運行規定を作ったり、新しく営業するバス、タクシーについては排出規制を満足する車種でなければ許可しない等の対策を打ち出してきている。

1. 3. 3 警報発令による2段階の運行規制

現在チリのSPMの環境基準値として $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ が定められているが、基準を満たすのは夏季の11～2月だけで冬季はほとんど基準を超える状況にある。そこで、CEDRMは2段階の予報・警報を設定して車等の運行規制を実施している。SPM濃度が $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を越えると注意報(PRE-EMERGENCIA)を発令し、 $330 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を越えると警報(EMERGENCIA)を発令する。Table 3は1990年～1993年7月までの注意報及び警報を発令した日数を示したものであり、5, 6, 7月に集中している。この理由として、前述の気象データから明らかなように夏季5～7月はほとんど雨の降らない乾燥日が続き、風速 0.5m 以下の無風状態に近い特徴的な気象条件となることが大きい理由である。モニタリングしているSPM濃度が $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上に達したときは注意報を発令し、車の末尾番号4個まで制限して運行をとりやめさせる。またSPMを排出する事業所は操業の規制を受ける。現在チリの固定発生源については、SPMのみ年数回モニタリング測定を行う事が義務づけられている。SPMを排出する全ての事業所は濃度に応じてランク付けされているが、濃度の高い事業所から順に全体の3割を占める事業所までがこの時操業停止処置をうける。道路には、粉じんの巻き上げを減らすため散水を行ったり、道路中央の粉じんを道路脇に分散させる等の処置をとる。更にSPMが高濃度の $330 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に達した時は、5割に当たる車の末尾番号5個までを運行禁止処置にしたり、固定発生源となる対象事業所の5割が操業をカットする処置を

Table 3 Conditions of PRE-EMERGENCIA and EMERGENCIA in Santiago

Year	PRE-EMERGENCIA		EMERGENCIA	
	Month	Day	Month	Day
1990	May	25,26	June	20,21
	June	08,14,15,22,28		
	July	04,05,06,11		
1991	May	09,16	June	12,13
	June	11,24,25,26		
	July	01,02,04		
1992	May	13,14	July	08,10
	June	10,11,12,15		
		16,17,18,19		
	July	09,22,23		
1993	August	06	—	
	May	27		
	June	17,20,25,26		
	July	14,15,16		

This data is provided by Ignacio Olaeta & Yolanda Silva
in Environmental Health Service for Metropolitan Region Santiago-Chile

Fig. 5 Preemergency condition at continuous SPM10 monitor in Santiago-Chile

とられる。学校も登校しない処置をとる。車両総数からみるとこれらの規制措置と道路対策によって、SPM濃度は一時的にはあるが低減する効果がある。Fig. 5に、1993年7月におけるPRE-EMERGENCIA及びEMERGENCIAの発令された特徴的な週データを示した。PRE-EMERGENCIAがかかると緊急の対応措置によりSPM濃度は $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下となって小康状態を保った

が、規制が解除された週末には再び濃度が上昇する現象がおきている。

2. 環境分析に関連する研究施設の訪問

2.1 チリの環境問題に対する日本の対応

環境技術協力の対象国はタイ、インドネシア、中国、メキシコ等であるが、チリは国連本部の南米基地がある

ことや政府が1990年軍事政権からエイルウィン大統領の民政へ移管されたことにより、南米の拠点整備上その技術協力をする条件を十分具備しているとして海外技術協力の対象国となった。主な技術協力の一つは、チリの遅れている環境分野の分析技術を向上させるため、日本とチリ政府とにより南米地域における環境研究研修センターの設立を行うことである。このセンターはチリ国内だけでなく、南米における環境分析技術センターの拠点として位置づける。チリ側からは日本がこれまで経験してきた大気汚染対策、水質汚濁対策、廃棄物対策等の公害対策技術をチリの公害問題解決のためセンターの設立を通じて技術移転して欲しい要望が出されている。なお、この他に日本側の環境協力としては、チリ関係省庁に対する支援、半乾燥地の緑化植林プロジェクトの支援等、多くの技術協力を行っている。

2. 2 環境に関連した研究施設の現況

チリで環境問題に携わる機関は、アントファガスタにアントファガスタ大学の砂漠研究所があり、チリ北部が抱えている砂漠化の進行と北部鉱山から出る鉱山排水に対処するための研究を行っている。しかしながら、環境分野に携わる研究機関は主にサンティアゴにあって、チリ大学と工業技術院 INTEC 等の主たる機関以外に、日本の地方自治体における環境保健試験研究機関のようなものはない。このため水質、大気、廃棄物いずれも大きな問題を抱えながら環境分析ができないため、その汚染実態が十分把握されていない。今回、チリの環境センター設立に関与している関連研究機関を訪問して、情報交換を行いながらチリの環境分析の実情を訪ねた。訪問先は国立チリ大学の化学薬学部、同大学の大气質分析研究室、

工業技術院 (INTEC) の環境分析部門、チリ大学の医学部生化学研究室、サンティアゴ工科大学環境研究科であった。

機器整備の現況は、国内 GC/MS 導入台数13台のうち8台までをチリ大学が所有しており、チリ大学の分析部門に占める位置は大きいものが見受けられた。訪問先の化学薬学部実験棟では、分析稼働中の GC/MS 装置 (HP 社製) を見学した。チリ国内スポーツ選手のドーピング検査 (覚醒剤、コカイン、大麻、マリファナを分析) を週あたり50~100検体実施しているが、今後水質の農業分析も測定したいため日本の分析技術について情報交換してほしいと日本側に対する強い要望意見が出された。

おわりに

チリの環境対策はまだ始まったばかりと言えるが大きな環境問題への解決策を模索しながらも、チリの国は明るい。訪れたチリ大学の研究者、環境行政担当官、首都圏公害モニタリング測定を担当者等多くの人々から、チリの現況における多くの情報を頂いた。日本で大気環境測定技術に携わる研究者らが、環境問題の解決に向けてこれまでに培ってきた技術を生かして国際的協力を行う必要性を痛感した。

最後に、チリ共和国への海外出張において、多大な協力を頂きました JICA の環境ジュニア専門家田中研一氏と、サンティアゴの大気汚染について貴重なデータ情報を提供して頂いた Environmental Health Service for Metropolitan Region Santiago-Chile のモニタリング担当者 Mr. Ignacio Olaeta 氏及び Ms. Yolanda Silva さんにこの紙面をかりて深謝の言葉を述べます。