

VI. タイにおける酸性雨の実態調査

■1992.7～1992.8, タイ王国, タイ王国環境研究研修センター (ERTC) プロジェクト, 短期派遣

田中 茂

1. 概要

酸性雨に関しては、多くの情報が種々のルートを通じて報告されてきている。その中で、特に耳にするのは欧州や北米での実態調査報告である。最近では、中国における酸性雨の実態が紹介され、米国に次ぐ世界第2位の二酸化硫黄排出量を示している中国での深刻な実態が明らかになってきた¹⁾。わが国においては酸性雨のモニタリングは、各地方自治体の公害研究機関等により精力的に行われており、その実態に関しては膨大なデータが積み上げられている。一方、タイ、ベトナム、インドネシア等の東南アジアは経済発展が著しく、今後飛躍的にエネルギー使用量が増加するにもかかわらず、発展途上のため大気汚染物質発生要因の少ない含有量の少ない石油、天然ガス等の化石燃料は使用できず、また脱硫や脱硝などの防止技術も高価であり設置しにくいいため、今後酸性雨を含めた大気汚染問題が深刻になることが予想される地域である。それにもかかわらず、降水の採取・分析が充分に行われてはおらず、酸性雨の実態も明らかにされていないのが現状である。

そこで、本研究では1992年8月にタイのバンコク首都圏の3地点において降水の採取・分析を行い、その結果をもとにタイにおける酸性雨の実態を明らかにすることを検討した。

2. タイにおける大気汚染の実態¹⁾

タイの経済発展はめざましいが、それに伴う環境問題も深刻化する一方であり、早急な対策が求められている。特にバンコク首都圏における急速な都市成長と、それに比較して相対的に対応が遅れ多くの問題を生じている。大気汚染に関しては輸送機関からの排気ガスが最大の要因である。表6.1に示すように輸送機関からの一酸化炭素、窒素酸化物、炭化水素の排出量はそれぞれの総排出量の87%、66%、41%を占めている。排気ガスの立ちこめる道路で交通整理を行なっている警察官の多くがマスクを着用するようになったが、血中の鉛濃度の増加、呼吸系疾患などが報告されている。

大気汚染の第2の原因としては工場、発電所からの排出ガスがあげられる。工業部門は総エネルギー消費量の約50%を占め、1986年以降それまでの燃料油、燃料材に加え、褐炭や輸入石炭の使用が増加している。全国で3,400の工場がボイラーを使用しており、この

うち 65%がバンコク首都圏に立地しているため、自動車の排出ガスとあいまってバンコクでの大気汚染は顕著である。

第 3 の大気汚染の原因は、家庭からの排出ガスである。都市部の家庭のエネルギー消費量のうち 47%が石炭、34%が電気によるものである。農村部の家庭で消費されているエネルギーは 52%が石炭、39%が薪炭材である。北部の山岳地帯、とくにチェンマイの盆地は家庭での燃料燃焼による大気汚染が進み、どんよりと曇った空が多くなったといわれている。

現在、タイにおける二酸化硫黄や窒素酸化物の総排出量はそれぞれの日本の 1/2, 1/3 であるが、このまま排出量の削減対策を行わずに経済が発展し続けた場合、2011 年には二酸化硫黄の総排出量は日本の 3 倍、窒素酸化物で日本の 2 倍になると予測されており、将来酸性雨問題が深刻化する可能性は大きい。

表 6.1 タイにおける発生源別汚染物質排出量¹⁾

(単位：1000t/年)

排出物	1988年	発生源別割合 (%)			(予測) 2011年	発生源別割合 (%)		
		工業	輸送	発電		工業	輸送	発電
炭化水素	813	1.5	41.2	0.1	1,693	1.4	88.1	0.4
窒素酸化物	401	10.8	66.6	11.8	2,077	11.6	60.0	26.4
二酸化硫黄	552	26.4	23.1	44.4	3,186	26.8	10.8	60.3
一酸化炭素	2,054	2.5	87.2	0.3	8,404	1.6	95.7	0.4
二酸化炭素	86,338	21.1	31.8	18.8	388,600	17.9	30.8	42.9
浮遊粒子状物質	514	40.2	17.9	3.4	1,596	67.1	25.6	2.7
鉛	1	—	100.0	—	2	—	100.0	—

出典：Thailand Development Research Institute-

3. タイにおける降水の採取・分析法

3.1 降水の採取期間と採取地点

1992年8月、タイの首都バンコク市内およびその近郊の3地点において降水の採取を行った。採取地点の概略を図6.1に示す。ONEB (Official of National Environment Board) はバンコク市内の都心部に位置し、3地点内で最も大気汚染の進んだ地域と考えられる。ERTC (Environmental Research and Training centre) と Pathum Thani にある Office of Industry はともにバンコクから 40km ほど離れた郊外に位置するが、タイにおける風系は恒常的に南西風であるため、前者がバンコクからの大気汚染物質の輸送経路にあたるのに対し、後者はバンコクの大気汚染の影響を余り受けないと考えられる地域である。

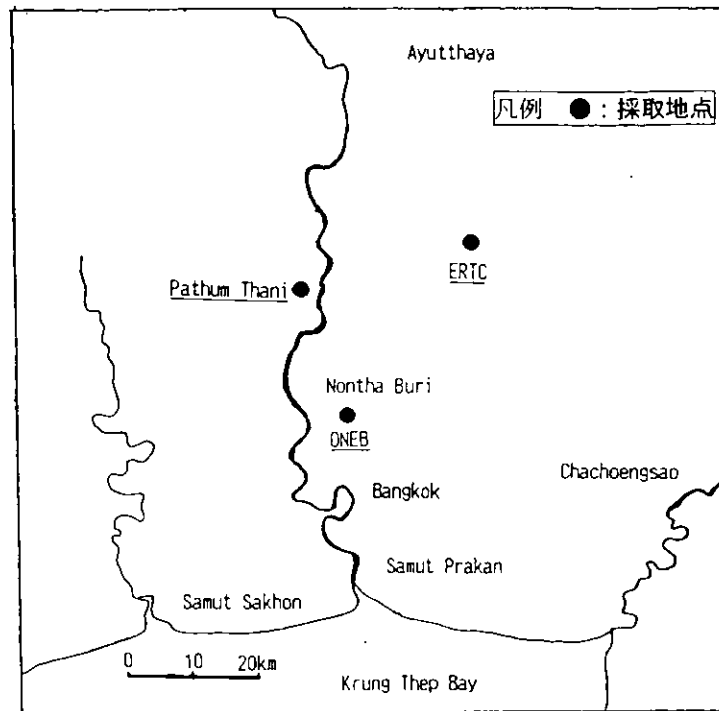


図 6.1 降水の採取地点の概略 (タイ・バンコク)

3.2 降水の採取・分析法

降水の採取は、柴田科学製の降水サンプラー (デポジットゲージ 8808-04) を用いて行った。この降水サンプラーはバルク採取を行う装置であるため、降水以外に非降水時における乾性降下物も混入する。しかし、タイの雨期にあたる 6～9 月にはほとんど毎日雨が降るため、乾性降下物の影響は少ないと考えた。

降雨日の翌日に、3 地点で採取した降水を ERTC に輸送し、ただちにミリポア製のメンブランフィルター (47mmφ, Type HA, ポアサイズ 0.45μm) によりろ過し、pH メーター (ハンナ、HI-8424) を用いて降水の pH を測定し、イオンクロマトグラフィーを用いて降水中のイオン成分の測定をそれぞれ行った。

表 6.2 にイオンクロマトグラフィーの分析条件を、また、図 6.2、図 6.3 にこの条件で測定した標準試料および降水試料の典型的なクロマトグラムを示した。又、写真 6.1 は ERTC の屋上の設置した降水サンプラー、写真 6.2 は ERTC の実験室内でのイオンクロマトグラフをそれぞれ撮影したものである。

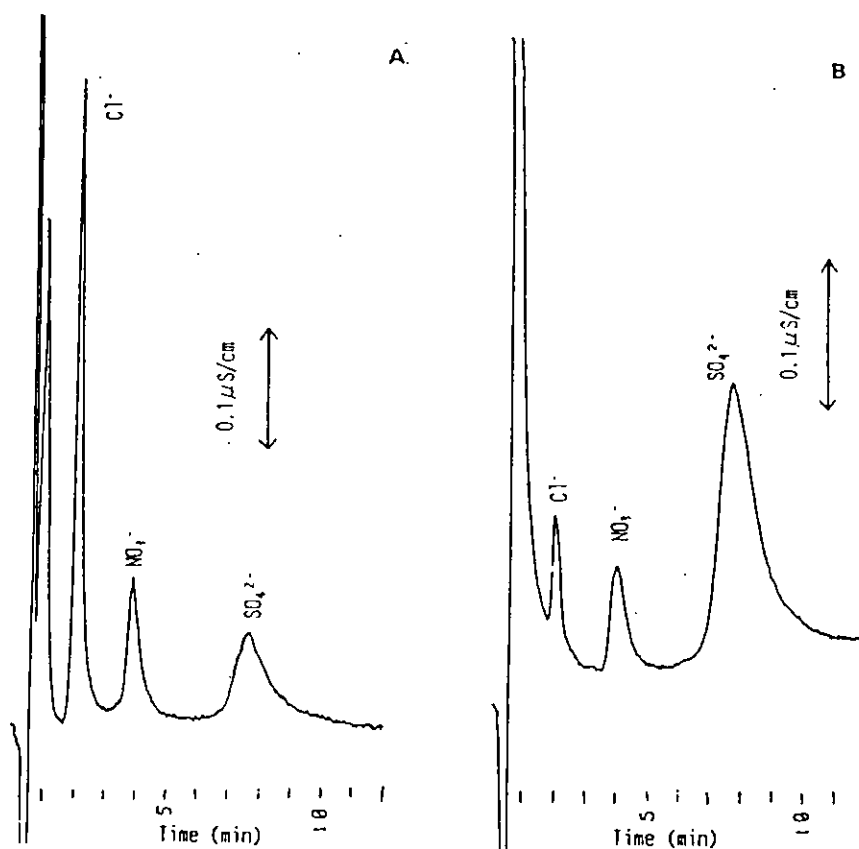
表 6.2 イオンクロマトグラフィーによる降水の分析条件

Anion (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})

Column : HITACHI #2710-SA-IC
 Eluent : 0.75mM KHP + 2% iso-Propyl Alcohol + 5% Etylen Glycol
 Flow rate : 1.0ml/min
 Injection volume : 100 μ l
 Detector : conductivity detector
 Temperature : 40 $^\circ$ C

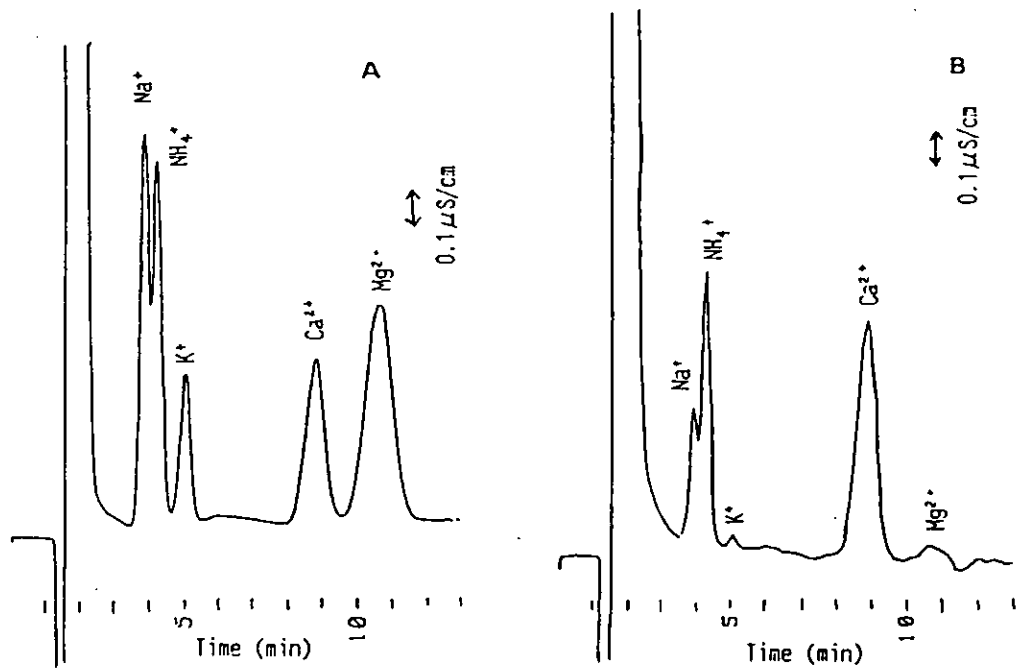
Cation (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})

Column : Shodex IC YD-521
 Eluent : 5mM Tartaric acid + 0.8mM Dipicolinic acid
 Flow rate : 1.0ml/min
 Injection volume : 100 μ l
 Detector : conductivity detector
 Temperature : 40 $^\circ$ C



(A) : Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 1ppm 標準溶液 (B) : 降水試料

図 6.2 陰イオンのクロマトグラム



(A): Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 1ppm 標準溶液 (B): 降水試料

図 6.3 陽イオンのクロマトグラム

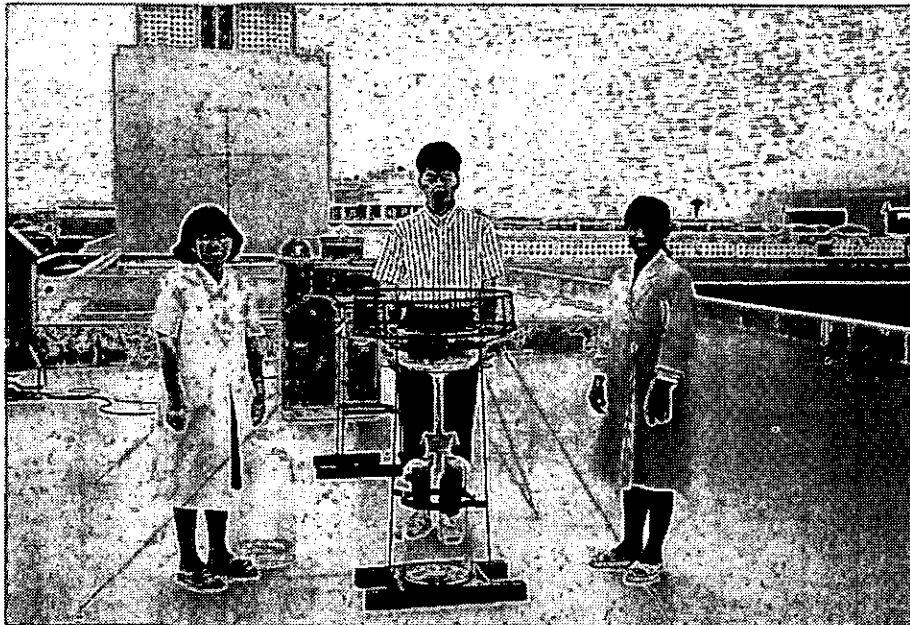


写真 6.1 降水のサンプリング地点(タイ・ERTC屋上)

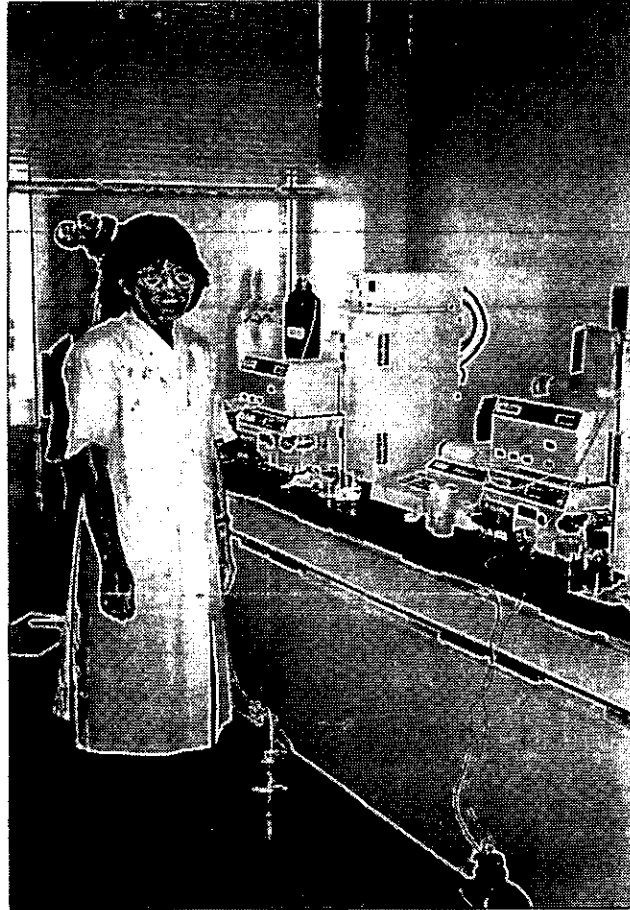


写真 6.2 タイ・ERTC の実験室内

3.4 タイにおける降水中の化学成分の分析結果

図 6.4 および表 6.3 に、1992 年 8 月のタイにおける降水中の化学成分の分析結果を示す。

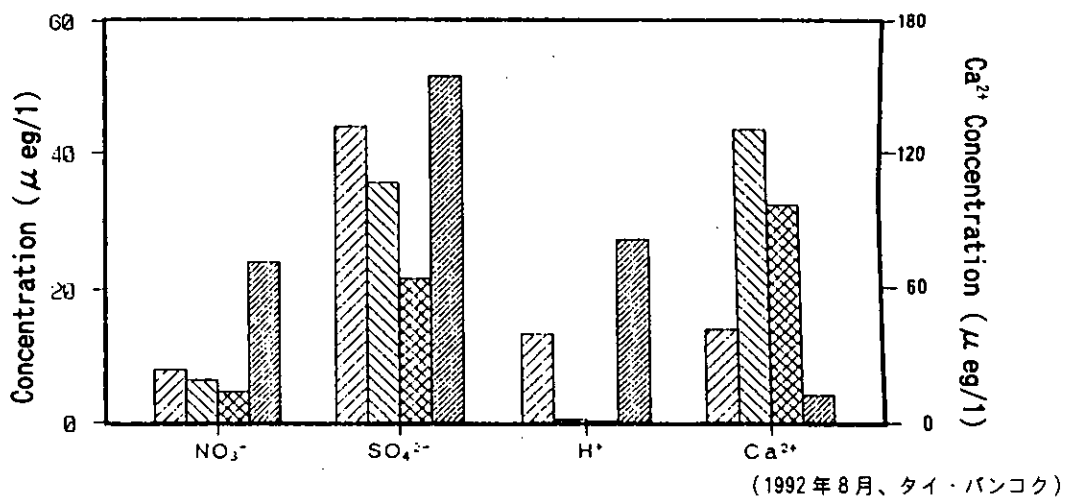


図 6.4 降水中化学成分濃度の地点比較

表 6.3 雨水中化学成分の分析結果

(1992年8月、タイ・バンコク)

Sample name	Sampling period	Rainfall (mm)	pH	Concentration ($\mu\text{eq/l}$)												
				Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ani.*	Cat.*	Ani./Cat.	
Samples collected at ERTC																
E92-01	7/29-30	63.7	4.59	3.4	6.8	24.0	25.7	8.3	4.4	1.0	17.0	3.3	34.1	59.8	0.57	
E92-02	7/30-31	16.3	5.23	14.4	1.9	15.0	5.9	28.3	11.7	2.1	10.0	5.0	31.3	62.9	0.50	
E92-03	7/31-8/3	4.0	4.49	23.4	25.2	142.7	32.4	62.2	23.3	3.9	92.0	14.2	191.3	227.9	0.84	
E92-04	8/3-4	34.5	4.48	7.0	12.4	82.9	33.1	17.0	22.2	4.1	42.0	5.0	102.4	123.4	0.83	
E92-05	8/4-5	1.0	4.15	6.2	38.9	147.9	70.8	18.3	43.3	2.8	71.0	8.3	193.0	214.5	0.90	
E92-06	8/5-6	8.8	5.28	6.5	9.7	91.9	5.3	13.9	22.2	1.8	64.5	6.7	108.0	114.3	0.94	
E92-07	8/6-13	1.9	6.88	93.8	109.2	491.0	0.1	88.3	61.1	17.7	920.5	80.0	694.0	1167.7	0.50	
E92-08	8/13-17	0.8	6.35	133.2	64.8	602.1	0.5	133.9	10.0	18.7	559.5	68.3	800.2	790.9	1.01	
E92-09	8/17-24	21.1	5.32	14.9	9.0	50.4	4.8	13.5	40.0	3.6	67.5	8.3	74.4	137.7	0.54	
E92-10	8/24-26	2.2	6.27	9.9	10.8	40.6	0.5	8.7	33.3	3.3	62.0	7.5	81.3	115.4	0.53	
E92-11	8/26-27	34.7	5.76	3.7	3.4	20.2	1.7	3.5	20.6	0.8	17.5	2.5	27.3	46.5	0.59	
E92-12	8/27-31	56.3		3.1	3.6	14.4		9.6	8.3	2.6	25.5	0.0	21.0	47.7	0.44	
E92-13	8/31-9/3	13.2		9.9	13.6	88.5		11.7	45.0	3.6	93.5	4.2	112.0	159.7	0.70	
Weighted Mean Conc.				4.88	7.4	8.1	44.1	13.2	13.0	17.0	2.4	41.5	4.4	59.7	91.5	0.65
Samples collected at ONEB																
O92-01	8/6-14	11.9	6.16	10.7	8.4	41.7	0.7	14.4	42.8	4.9	132.0	5.8	60.7	200.5	0.30	
O92-02	8/14-16	3.8	6.96	16.9	16.1	102.3	0.1	21.3	36.7	4.4	234.0	10.0	135.3	306.4	0.44	
O92-03	8/16-21	29.7	6.25	6.2	4.4	22.5	0.6	6.5	23.9	1.5	107.0	5.0	33.0	144.5	0.23	
O92-04	8/21-26	8.5	7.22	5.9	6.8	43.1	0.1	7.0	44.4	2.1	167.5	6.7	55.8	227.7	0.25	
O92-05	8/26-28	4.0		22.6	19.4	129.2		19.1	80.6	5.9	228.5	15.8	171.3	350.0	0.49	
O92-06	8/28-31	39.5		2.5	4.5	27.1		0.0	25.0	1.3	71.0	5.0	34.1	102.3	0.33	
Weighted Mean Conc.				6.32	7.9	6.5	35.6	0.5	9.4	32.2	2.6	131.0	5.8	50.0	181.4	0.28
Samples collected at Pathum Thani																
P92-01	8/1-13	1.4	6.49	40.0	18.1	117.9	0.3	64.8	40.0	16.7	240.0	25.8	176.0	387.6	0.45	
P92-02	8/13-18	1.6	6.32	21.4	11.5	65.4	0.5	20.9	45.6	6.2	242.5	14.2	98.3	329.7	0.30	
P92-03	8/18-24	7.1	6.34	29.0	10.7	40.8	0.5	21.7	28.9	10.0	193.5	10.8	80.5	265.4	0.30	
P92-04	8/24-27	29.8	6.78	3.9	2.3	10.0	0.2	4.8	8.3	1.5	59.5	3.3	16.2	77.7	0.21	
Weighted Mean Conc.				6.63	10.4	4.7	21.5	0.2	10.6	14.6	3.8	97.0	5.9	36.5	132.0	0.28
Yokohama, Japan Jun., 1990~Nov., 1991 (59 rain sample)																
Weighted Mean Conc.				4.57	39.9	23.9	51.5	27.2	26.2	34.7	2.1	12.0	7.6	115.3	109.8	1.05

*Total anion *Total cation

表 6.3 より、降水の pH は、ERTC : 4.88、ONEB : 6.32、Pathum Thani : 6.63 であり、降水に顕著な酸性化は認められなかった。これは、1987 年 4~11 月にタイの各地で行われた調査とも同様の結果である¹¹⁾。図 6.4 より地点別にみると、NO₃⁻、SO₄²⁻濃度はいずれも ERTC > ONEB > Phathum Thani の順になっている。発生源に最も近い ONEB より郊外の ERTC において降水中の汚染物質濃度が高くなった理由としては、恒常的に吹いている南西風のためにバンコク市街地で排出された汚染物質が ERTC 付近に湿性沈着している可能性が考えられる。また、バンコクからの汚染物質の輸送経路にはあたらない Phathum Thani における降水中の化学成分濃度は 3 地点中最も低い値となった。また、降水中の Ca²⁺ が非常に高濃度であるが、これはタイの土壌が砂状であることと常に強い風が吹いていることにより、大気中に土壌粒子が巻き上げられやすく、それを起源とする炭酸カルシウムが降水中に取り込まれているためと考えられる。

また、図 6.4 より、タイにおける降水においては、酸性成分である NO₃⁻、SO₄²⁻濃度は、日本の首都圏に位置する横浜市港北区日吉における値より低い値となっていることがわか

る。そのため現時点のタイにおいては酸性雨による大きな被害は確認されてはいない。しかしながら、現在のタイの経済発展状況、大気汚染状況および降水成分濃度の状況は、1960年代の高度経済成長時の日本と酷似しているため、将来タイにおいて、酸性雨による被害が深刻化する可能性を否定することはできない。

4. まとめ

1992年8月、タイの首都バンコクの市内およびその近郊の3地点において、デポジットゲージを用いて降水を採取しその化学成分濃度の測定を行った。その結果、バンコク近郊のERTCで採取された降水中の汚染物質が、バンコク市内のONEB値より高くなった。この理由として、バンコク市街地で排出された汚染物質が、南西風により輸送されERTC付近に湿性沈着していることが考えられる。

現時点ではバンコクにおいて降水の深刻な酸性化は認められないが、急激な経済発展により、将来酸性雨による被害が顕在化する可能性は否定できない。

また、タイにおける降水中には、土壌粒子を起源とする炭酸カルシウムや炭酸水素カルシウムが多量に溶解しており、これらは雨水の酸性化に対する中和物質として働いている。

今後は、酸性雨の実態を明らかにする為に更にタイの広範囲な地域で長期的に継続して降水を採取・分析し、データを蓄積していく必要があると言える。

5. 参考文献

- 1) 村野健太郎 : 環境と測定技術、19、No.6, 51-58(1992)
- 2) 田中菜穂子 : 資源環境対策、28, 1065-1076(1992)