

# アジア沿岸水圏における 有機汚染物質のモニタリングと管理

国際連合大学 サステイナビリティと平和研究所 高下 栄子 伊藤 治

我々の身近にある水には工業・農業・生活等の活動から排出される汚染物質が含まれ、特に、残留性有機汚染物質（POPs）は食物連鎖を通じて濃縮され生物の体内に蓄積しやすく、健康や生態系に悪影響を及ぼす恐れがある。高濃度に蓄積した場合には、慢性疾患や死をもたらすPOPsもあり、低濃度の場合でも、身体の免疫系や生殖器系の損傷など、潜行性の健康被害を及ぼす可能性がある。国際連合のシンク・タンクの役割を担って創設された国際連合大学は、東京渋谷に本部を置いて1975年より活動を行っているが、化学物質による汚染という地球規模の環境問題に着目し、その解決を目指し汚染状況の把握と監視を主眼としたプロジェクトを過去十数年にわたって行ってきた。本稿においては、このプロジ

エクトのこれまでと今後の展開について概観することにする。

## これまでの活動

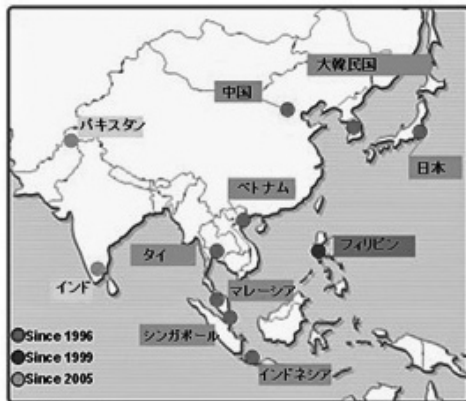
1994年6月15-16日に国連大学で「環境中の有害化学物質」に関するシンポジウムが開催され、有害化学物質の管理には官民パートナーシップが不可欠であることが改めて認識された。京都に本社のある島津製作所は、最新鋭の分析機器の開発と応用技術の提供を国際的にを行っている企業であるが、国連大学と共同してこの地球規模の環境問題に取り組む意欲を示していた。島津製作所は、シンポジウムの共同開催だけにとどまらず、東南アジア諸国の研究者を巻き込んだ環境モニタリング事業を意図して、国連大学への助成を決定した。1995年7月13日

に国連大学と島津製作所の共同事業に関わる調印式が行われた。これがその後17年余、現在も継続されている官民パートナーシップによるプロジェクトの始まりである。

プロジェクトは国連大学主導で、「東アジア地域の環境モニタリングと分析」というタイトルで開始された。参加国から選出された研究機関からナショナルプロジェクトコーディネーター（NPC）が任命され、NPCはそれぞれの研究機関内でプロジェクトを管理し、自国政府や国連大学と連絡を取る責務を担っている。島津製作所からは、ガスクロマトグラフ質量分析装置（GC-MS）が各国に一台ずつ貸与された。初年度の1996年は参加国で共通の主食作物であるコメが対象試料として選択され、残留農薬が測定さ

れた。また、参加国研究者に対しては、国立環境研究所において試料の前処理手法、島津製作所の秦野の研究所においてGC-MSによる分析手法の実習指導が行われた。1997-98年には、それぞれ水、大気を対象とするモニタリングが実施された。東京以外にシンガポールにおいて講演会・ワークショップを行い、東南アジア地域における環境モニタリングネットワークを形成する基礎が構築された。1999年2月9日に3年間のプロジェクトを総括する国際シンポジウムが国連大学において開催され、経済協力開発機構（OECD）、米国環境保護庁（EPA）、国際環境分析化学協会（IAEAC）等の代表を含めて、国内外著名科学者の講演と討論が行われた。シンポジウムでは、アジア地域でのこのような活動によるインパクトが高く評価されたため、プロジェクトをさらに継続することが国連大学と島津製作所の間で協議・採決された。この結果3年を区切りとして1999-2001年度、2002-2004年度、2005-2008年度、

図1 プロジェクトに参加しているアジア11カ国



2008・2011年度、2012・2015年度と計5期にわたってこのプロジェクトが継続して現在に至っている。

プロジェクトは、アジア地域の環境モニタリングと環境管理を主要な課題としてきてはいるが、実施方法並びに内容には年月の経過と共に変更が加えられた。例えば、参画国として、フィリピンとインド、パキスタンが加わり(図1)、海岸域を含めた水圏域がモニタリングの対象域として重点化された。過去15年間にわたり対象となった化学物質は、有機塩素系農薬

表1a 過去プロジェクトにて分析対象となった化学物質と試料(1996 - 2001)

分析対象試料	第一期(1996 - 1998)					第二期(1999 - 2001)		
	1996	1997	1998	1999	2000	2001		
	Pesticides 米	VOCs 水道水・河川水	TBTs 魚の鱗	VOCs 室内空気・大気	Aldehydes 室内空気・大気	EDC-like Pesticides 河川水	EDC-like Phenols 河川水	EDC-like Phthalates 河川水
分析対象化学物質	Fenitrothion(MEP)	1,1-Dichloroethylene	Tri Butyl Tin	Trichloromethane	Formaldehyde	a-BHC	Bisphenol-A	Di methyl phthalate
	Malathion	Dichloroethane	Tri Phenyl Tin	1,1,1-Trichloroethane	Acetaldehyde	p-BHC	4-t-Butylphenol	Di ethyl phthalate
	Chlorpyrifos	r-1,2-Dichloroethane		Terchloromethane		r-BHC	4-n-Butylphenol	Di i-propyl phthalate
	p,p'-DDT	c-1,2-Dichloroethane		Benzene		o-BHC	4-n-Pentylphenol	Di allyl phthalate
		Trichloromethane		1,2-Dichloroethane		Aldrin	4-n-Hexylphenol	Di n-propyl phthalate
		1,1,1-Trichloroethane		Trichloroethane		Dieldrin	4-n-Heptylphenol	Di i-butyl phthalate
		Terchloromethane		1,2-Dichloropropane		p,p'-DDE	4-t-Octylphenol	Di n-butyl phthalate
		Benzene		Bromodichloromethane		Endrin	4-n-Octylphenol	Di n-pentyl phthalate
		1,2-Dichloroethane		c-1,3-Dichloropropene		p,p'-DDD	4-Nonylphenol	Butyl benzyl phthalate
		Trichloroethane		Toluene		p,p'-DDT	2,4-Dichlorophenol	Di n-hexyl phthalate
		1,2-Dichloropropane		i-1,3-Dichloropropene			Pentachlorophenol	Di butoxy ethyl phthalate
		Bromodichloromethane		1,1,2-Trichloroethane				Di cyclohexyl phthalate
		Toluene		Dibromochloromethane				Di n-heptyl phthalate
		i-1,3-Dichloropropene		m,p-Xylene				Di 2-ethyl hexyl phthalate
		1,1,2-Trichloroethane		o-Xylene				Di n-octyl phthalate
		Tetrachloroethane		Tribromomethane				Di 2-ethyl hexyl adipate
		Dibromochloromethane		p-Dichlorobenzene				
		m,p-Xylene						
		o-Xylene						
		Tribromomethane						
		p-Dichlorobenzene						
サロゲート			Tri Pentyl Tin				Bisphenol-A d <sub>18</sub>	Di n-pentyl phthalate-d <sub>4</sub>
内部標準		p-Bromofluorobenzene	Tetra Butyl Tin		Diphenylamine	Phenanthrene-d <sub>10</sub>	Naphthalene-d <sub>8</sub>	Di n-butyl phthalate-d <sub>4</sub>
						Pyrene-d <sub>10</sub>	Phenanthrene-d <sub>10</sub>	Di 2-ethyl hexyl phthalate-d <sub>4</sub>
						Pyrene-d <sub>10</sub>	Pyrene-d <sub>10</sub>	
使用分析機器	GCMS-QP5050A					GCMS-QP5050A		

表1b 過去プロジェクトにて分析対象となった化学物質と試料(2002 - 2011)

分析対象試料	第三期(2002 - 2004)			第四期(2005 - 2008)		第五期(2009 - 2011)		
	2002	2003	2004	2005/2006	2007	2008	2009	2010
	Pesticides POPs 河川水	Pesticides POPs 河川水・堆積物	Pesticides POPs 河川水・堆積物	Pesticides POPs えび	Pesticides POPs 魚	Pesticides POPs イカ	PCBs えび	PBDEs 堆積物
分析対象化学物質	Hexachlorobenzene	Hexachlorobenzene	Hexachlorobenzene	Hexachlorobenzene	Hexachlorobenzene	Hexachlorobenzene	Monochlorobiphenyl	2,4,4'-TriBDE
	Heptachlor	Heptachlor	Heptachlor	Heptachlor	Heptachlor	Heptachlor	Dichlorobiphenyl	2,2',4,4'-TetraBDE
	Aldrin	Aldrin	Aldrin	Aldrin	Aldrin	Aldrin	Trichlorobiphenyl	2,2',4,4',5-PentaBDE
	t-Chlordane	t-Chlordane	t-Chlordane	t-Chlordane	t-Chlordane	t-Chlordane	Tetrachlorobiphenyl	2,2',4,4',6-PentaBDE
	c-Chlordane	c-Chlordane	c-Chlordane	c-Chlordane	c-Chlordane	c-Chlordane	Pentachlorobiphenyl	2,2',4,4',5,5'-HexaBDE
	Dieldrin	Dieldrin	Dieldrin	Dieldrin	Dieldrin	Dieldrin	Hexachlorobiphenyl	2,2',4,4',5,6'-HexaBDE
	Endrin	Endrin	Endrin	Endrin	Endrin	Endrin	Octachlorobiphenyl	2,2',3,4,4',5,6'-HeptaBDE
	p,p'-DDT	p,p'-DDT	p,p'-DDT	p,p'-DDT	p,p'-DDT	p,p'-DDT	Nonachlorobiphenyl	DecaBDE
							Decachlorobiphenyl	
サロゲート	p,p'-DDT- <sup>13</sup> C <sub>12</sub>	p,p'-DDT- <sup>13</sup> C <sub>12</sub>	p,p'-DDT- <sup>13</sup> C <sub>12</sub>	p,p'-DDT- <sup>13</sup> C <sub>12</sub>	p,p'-DDT- <sup>13</sup> C <sub>12</sub>	p,p'-DDT- <sup>13</sup> C <sub>12</sub>	<sup>14</sup> C-Labelled PCBs	<sup>14</sup> C-Labelled PCBs
内部標準	Pyrene-d <sub>10</sub>	Pyrene-d <sub>10</sub>	Pyrene-d <sub>10</sub>	Phenanthrene-d <sub>10</sub>	Phenanthrene-d <sub>10</sub>	Phenanthrene-d <sub>10</sub>	Pyrene-d <sub>10</sub>	2,2',3,5'-TetraCB- <sup>13</sup> C <sub>12</sub>
				Cyrene-d <sub>13</sub>	Cyrene-d <sub>13</sub>	Cyrene-d <sub>13</sub>		2,2',3,4,4',5'-HexaCB- <sup>13</sup> C <sub>12</sub>
使用分析機器	COCMS-QP2010			COCMS-QP2010			COCMS-QP2010	

(Organochlorine Pesticides, OCPs)・ポリ塩化ビフェニル (Polychlorinated Biphenyls, PCBs) とポリ臭化ジフェニルエーテル (Polybrominated Diphenylethers, PBDEs) 等を主体とした100種以上に上る(表1)。10カ国での試料は、河川、湖沼、沿岸域、底質など800以上のサンプリング地点から採取され、POPs濃度が調べられた。

過去5期のプロジェクトを通じて、18式のガスクロマトグラフ質量分析計が島津製作所から提供され、更にはプロジェクト参加機関である政府系機関や大学より延べ70名以上の研究者がアジアの10ヶ国から来日し、様々な環境試料(水、生体、底質、食品、魚類、大気など)の前処理と有機汚染物質の分析手法のトレーニングを受けた(図2)。プロジェクト主催のシンポジウムでは、学術研究者、政策決定者、産業セクター、および一般参加者に、化学分析技術と、それに関連した環境政策の最新情報を学ぶ機会を提供した。プロジェクトのWebサイトでは、電子メールでも配信される活動季刊誌

の掲載のほか、開発途上国の人々にイベント情報や、UNUの一般的な活動内容についてもお知らせした。電子メールのニュースレターには400名以上の登録者があり、その多くは、他のイベントや他のネットワークを通じて、UNUと再び関わっている。現時点ではプロジェクトは16年目を終え第6期を迎え、企業や政府を超えた地域あるいは国際ネットワークへと成長を遂げている。

## これからの活動

2012年8月に国連大学と島津製作所はプロジェクト続行を再協議し、第6期プロジェクト展開の合意に至った。2012年11月12日に島津製作所と国連大学は第6期プロジェクト実施に向け、協定書に調印し、正式にプロジェクト継続を発表した。第6期のモニタリング活動は、アジア諸国におけるPFCs(過フッ素化合物類)の健全管理をテーマとし、各国の提携機関と共同で、水資源ならびに生態系中におけるPFCs(ただし、当面の対象はPFOS(パ

ーフルオロオクタンスルホナート)とPFOA(パーフルオロオクタン酸)に焦点を当てることとした。PFOSと及びPFOS類縁化合物は生態蓄積性を有するため、ストックホルム条約にて、2009年より付属書Bに掲載されており、ストックホルム条約への追加が提案されている。2012年9月に国連大学にて開催された第6期プロジェクト会議にて、プロジェクト実施に向け、

測定場所ならびに分析方法などを島津製作所ならびにNPCと協議した。過去のプロジェクトでは、参加国の環境管理能力形成を促進するため、POPsのような物質を対象とした研究活動強化ならびに分析能力育成の支援に焦点を当ててきた。時代の流れとともに、参加国の社会発展と経済成長がめざましく、能力育成支援に焦点を絞ってプロジェクトを継続することから得られる成果は限定的なものとなってきた。そのため、第6期では、これまでの主な目的を維持しつつ、プロジェクトを通じて、ストックホルム条約で締結国に対し規定されている「モニタ

リングデータを活用した条約の対策面での有効性の評価を行うこと(第16条)に向けて、有効性評価に資するためのデータを収集し、条約事務局に提出することを目標としている。さらに、プロジェクト会議では、今期プロジェクトの目標達成のための理解を共有するために、各国での測定場所ならびに分析方法などについて協議し、調査計画書を作成した。第6期では、PFCsによる水質汚染のモニタリングに主眼を置き、測定場所として河川ならびに沿岸を選定し、これらの測定場所から水サンプルを収集し分析を行う。分析方法として、第6期ではISO 25101「水質-PFOS及びPFOA-固相抽出及び液体クロマトグラフィ/質量分析を用いる未ろ過サンプルのための方法」を採用することになっている。

第6期プロジェクトにおいても前5期同様、分析機器の貸与(今回は液体クロマトグラフ質量分析計(LCMS/MS))と共に、PFCsの定量分析能力の向上を目的とし、2013年2月に分析研修コースが島津製作所三条工場





にて開催される。研修コースでは、NPCが選定した若手研究者へのモニタリング実施支援ならびに分析技術支援が行われる。プロジェクトに参加する機関の能力やリソースに応じた分析手順や分析精度管理指標が策定され、各研究機関間で分析精度の比較を実施し、データの信頼性についても確認が行われる。

## 今後の展望

アジア諸国におけるPOPsによる汚染の現状と環境政策を取り巻く問題として、経済発展が最優先され、企業における非効率性および環境意識の低さが見過ごされていることが挙げられる。また、制度的な問題として、主に生活排水ならびに産業系用排水などの基

準が緩く、排水処理の重要性が軽視され、水環境インフラが整備されていないことも挙げられる。有害化学物質の環境への放出を抑制するため、各国での社会的システムの構築は急務であるが、開発途上国の多くにおいては、いまだ高額な分析機器や試薬の入手が困難な状況にあり、分析能力の向上や人材育成といった基盤整備が制限されている。環境中のPOPsレベルをモニタリングする能力

は、有効な救済策とリスク削減政策を実施するうえで不可欠であるので、このような方面への支援を継続する必要がある。

有害化学物質のモニタリングや適正管理には、国家を超えた環境モニタリングが不可欠である。このような国際的な環境モニタリング活動を実施し、参加国パートナーが正確な測定ならびに分析を行うには、先進国企業からの分析機器の貸与だけでなく、技術支援や消耗品の供与ならびに情報の提供は不可欠である。開発途上国の研究者が精度の高い分析結果を出し、モニタリングデータとしてシンポジウム、会議、科学論文誌などを通して発表を行い、ストックホルム条約事務局にデータの提出を行うまでにはある程度の年月を要することを忘れてはならない。また、本プロジェクトのような活動を通して得られた環境汚染物質の化学分析能力の育成と国際的な環境研究者のネットワーク構築の実績を近隣諸国並びに他の発展途上国へ伝えることも重要であると考えている。そのためにも、本プロジェクトを通じて構築されたネ

ットワークを、更なる化学物質測定ネットワークへと発展させ、第6期で収集されるモニタリングデータが、正式に認知されることで、国際的な化学物質適正管理制度の推進などの政策レベルでの意思決定に積極的に貢献することを今期プロジェクトの重要な目標としている。2012年9月に熊本で行われた環境化学・環境毒性に関する国際学会のSETAC (The Society of Environmental Toxicology and Chemistry) Asia/Pacificにおいて、国連大学のセッションを設け、過去5期でのプロジェクトの成果と今後の展望についての発表を行った。また、これまでのプロジェクト活動の中で得られたデータをまとめ、本プロジェクトの今後の国際社会における貢献と活躍を願い、2013年に国連大学出版より報告書を出版する予定である。