

# カンボジア復興が人間環境系に与える影響の分析化学的研究 Study of the Reconstruction Impact on Human-Environmental Situation in Cambodia

鹿島勇治、松井三明、堺 温哉、○土井陸雄 (横浜市立大学医学部衛生学講座)  
高橋敬雄、竹内友規 (新潟大学工学部建設学科)  
田辺信介 (愛媛大学沿岸環境科学研究センター)  
Chea Sina (カンボジア環境省公害管理局)  
Touch Seang Tana (カンボジア農業省漁業局)

Yuji Kashima, Mitsuaki Matsui, Haruya Sakai, Rikuo Doi (Yokohama City University), Yukio Takahashi, Haruya Sakai (Niigata University), Shinsuke Tanabe (Ehime University), Chea Sina (Ministry of Environment, Cambodia), Touch Seang Tana (Ministry of Agriculture, Cambodia)

[ABSTRACT] We have investigated the environmental status at the Kingdom of Cambodia. In cooperation with Japanese researchers and Cambodian government staffs, quality of waste water and ambient air at Phnom Penh city and organochlorine compound pollution throughout the country were studied. We found that the current condition is not so polluted. But there are some signs indicating that acceleration of national reconstruction and the increase of human activities make the situation worsen. Based on our results, we should continue to conduct the research and try to make suggestion concerning environmental assessment and feasible pollution-control measures.

## 1. 研究目的

カンボジア王国 (The Kingdom of Cambodia、以下カ国と略) では、1970年代後半より内戦が続き、その政治基盤が極めて不安定であったが、1991年のパリ和平協定、そして国連カンボジア暫定統治機構によって1993年5月に立憲君主制国家として新たに生まれ変わった。その後は隣接国であるタイ、ベトナムの影響を受け、1999年にはASEAN加盟も果たし、経済開発が急速に進んでいる。しかし、議会政治制度は未だ発展途上にあり、国土と国民は依然として疲弊から抜け出せていない。

環境問題に関しては、1996年、環境保護と自然資源活用に関する基本法案がUNDPの協力の下に策定された。しかし上下水道管理、廃棄物処理、農業使用、大気汚染対策など、人間の生活と健康に深く関与する事項についての規制は、その測定技術の決定的不足とも相まって行われておらず、また地域住民に対する教育や周知も殆ど行われていない。また環境対策の根幹をなす資料が不足しており、その充実が早急に必要である。

一般に先進諸国では、公衆衛生→公害→環境→自然保護と、時間を追って克服すべき課題を与えられてきたと考えられるが、現在のカ国においては、これら4つの課題が同時発生しており、優先順位を付けて対応しないと、問題の総合的な解決を遅らせる恐れがある。我々は、1995年に「カンボジア環境基礎調査研究班」を結成し、日本のNGOである社団法人シャンティ国際ボランティア会 (旧称: 曹洞宗国際ボランティア会) の協力の下、カ国政府環境省公害対策局および農業省漁業局をカウンターパートとして環境調査を行ってきた。

本研究では、環境情報が皆無に等しいカ国において、研究者と、カウンターパートが共同して調査・研究を行い、環境保全システム構築のための基礎資料提供と、持続可能な環境測定技術および環境研究手法の移転を行うことを目的とした。

## 2. 研究経過および成果

### 2-1. プノンペン市の排水水質の評価

#### 2-I-1) 緒言

他の発展途上国の都市部同様、カ国首都プノンペン市においても、無秩序な人口集中と工業の発展のために、水質汚染が深刻な問題になっている。今回、同市における雨季と乾季の排水水質調査を行った。以下では、その結果を整理し、排水の水質特性について述べる。

#### 2-I-2) 研究経過

##### 2-I-2) - i) 採水地点

調査は乾季にあたる97年12月23~27日と雨季にあたる98年9月27~30日の2回行った。試料は、市外縁部のポンプ場・水門、それに排水が流入・流下している水路・湿地で、計15地点で採取した。97年12月の乾季は、15地点全てで試料採取した。採水を行った前数日は降雨がなく、各採水地点には、その水路を特徴づける均一な水質をもった排水が流れていると考えられた。一方、98年9月の雨季には10地点のみで試料採取した。地点4で試料採取した日の前日に降雨はなかったが、他の9地点では試料採取の前日に激しい降雨があった。

##### 2-I-2) - ii) 分析項目

COD・全窒素など9種、重金属8種に加え、陰イオン界面活性剤・非イオン界面活性剤・有機塩素ハロゲン物質の測定を行った。更に、最近問題になっている内分泌攪乱物質の一つビスフェノール

Aの測定も行った。気温・水温・pH・透視度の4項目については現地で採水時に測定し、他の指標については冷蔵保存し日本に持ち帰り、直ちに分析した。

### 2-I-3) 研究成果

#### 2-I-3) - i) 測定結果の概要

97年11月、98年9月における測定値はそれぞれ、気温(°C) 26.3~34.7、25.4~28.3、水温(°C) 25.3~31.2、26.0~27.5、pH 6.9~7.6、7.1~7.6、電気伝導度( $\mu$ S/cm) 839~1590、442~1055、透視度(cm) 2.3~13.9、1.5~4.9、懸濁質( $\mu$ g/L) 2.7~757、19~212、溶存酸素(%) 欠測、0.8~5.4、COD(%) 67~475、36~223、全窒素(%) 23~65、12~55、全リン(%) 3.3~9.5、1.0~5.9だった。

人工有機化合物については、陰イオン界面活性剤(mg/L) 2.5~16.8、0.2~7.4、非イオン界面活性剤(%) 0.1~5.0、ND~0.85、ビスフェノールA( $\mu$ g/L) 0.020~0.185、0.020~0.660、全有機塩素(%) 28~20,700、19~143だった。重金属に関しては、クロム( $\mu$ g/L) 1.0~25、ND~14、銅(%) 3.7~131、2.2~18、カドミウム(%) 0.8~5.1、0.1~7.4、鉛(%) ND~38、7~39、亜鉛(%) 12~668、114~250、マンガン(%) 205~1123、207~454、鉄(mg/L) 0.3~5.8、1.0~8.4、マグネシウム(%) 7.2~18、5.7~12だった。

#### 2-I-3) - ii) 測定結果の意味

測定結果から、以下のことが分かった。

- (1) プノンベン市中心4区の排水は生活排水の影響で高濃度の有機物・窒素・リンを含んでいた。
- (2) 乾季排水は、湿地・水路において、自然浄化・沈降などの影響を受けていると思われた。
- (3) 多くの指標において、乾季排水に比べると雨季排水の濃度は低かった。これは雨による希釈によると考えられた。
- (4) 一方、雨季の降雨に伴う流量増加で、湿地・排水路内のSSは増加した。また、それに伴い重金属濃度も増加した。
- (5) 陰イオン・非イオン界面活性剤共に日本と同レベルもしくはそれよりも高濃度検出された。界面活性剤が有機物量に占める割合は、乾季約10%、雨季約4%だった。
- (6) ビスフェノールAは乾季・雨季とも全試料から検出され、日本の都市河川と同水準だった。
- (7) 有機塩素化合物も全地点から検出され、特にトンレサップ川に直接排出される排水に高濃度検出されたところがあった。
- (8) 界面活性剤・ビスフェノールAは生活雑排水に由来している事が示唆された。しかし、有機塩素化合物については、その排出源は生活雑排水とは関係なしに、市内に個別に散在している事業所を排出源としている事が考えられた。

## 2-II. 有機塩素化合物によるカンボジアの魚介類およびヒトの汚染

### 2-II-1) 緒言

代表的な内分泌攪乱物質として知られるPCBs(ポリ塩化ビフェニール)およびDDTs, HCHs(ヘキサクロロシクロヘキサン), CHLs(クロルデン化合物), HCB(ヘキサクロロベンゼン)などの有機塩素系農薬に注目して魚介類およびヒトの母乳汚染を調査した。

### 2-II-2) 研究経過

魚類の試料は、シアヌークビルなど沿岸域2地点およびトンレサップ湖やメコン川など計5地点で採取した。沿岸7地域では、二枚貝のミドリガイ(*Perna viridis*)も採取した。プノンベンでは、ヒトの母乳試料10検体も採取した。いずれの試料も分析時まで冷凍保存した。有機塩素化合物の分析は既法に従った。

### 2-II-3) 研究成果

分析に供したすべての魚介類試料から有機塩素化合物が検出された。また、沿岸域で採取したミドリガイでは、有機塩素系農薬は検出されたが、

PCBsはシアヌークビル以外の地点からは検出されなかった。魚介類の試料ではいずれも、DDTsの濃度が最も高く、ついでPCBsまたはCHLs、HCHs、HCBの濃度順位であった。カ国唯一の海洋貿易港であるシアヌークビルはPCBsの汚染がみられ、船底塗料として利用したPCBsが汚染源と考えられた。海産魚に比べ淡水魚は明らかに高いDDTsを蓄積しており、マラリア防除などこの物質の汚染源は、内陸部にあることが推察された。しかし、カ国の魚介類の汚染レベルは、他のアジア諸国に比べると明らかに低いことがわかった(図1にDDTsの例を示す)。魚介類のHCHsやCHLs汚染レベルは低く、これらの物質は国内でほとんど使用されていないことが窺われた。

ところが、ヒトの母乳試料はDDTsの残留濃度が高く(0.23~6.0ug/g脂肪重当り)、都市近郊ではマラリア防除に相当量のDDTを散布していることが示唆された。低濃度ではあるが、母乳試料からはPCBsやCHLsも検出された。

## 2-III. 首都プノンベン市の大気汚染状況

### 2-III-1) 緒言

プノンベン市では自動車(バイクを含む)の交通量が増加し排気ガスによる大気汚染が懸念されている。我々は1998年から市内の主要な交差点沿道において、汚染状況予備調査を行った。

### 2-III-2) 研究経過

1998年10月(雨期)、1999年2月(乾期)、10月、2000年4月(乾期)に、プノンベン市内の主要交差点沿道で、二酸化窒素( $\text{NO}_2$ )、二酸化硫黄( $\text{SO}_2$ )、一酸化炭素(CO)、粒子状物質( $<10\mu\text{m}$ ;  $\text{PM}_{10}$ )、鉛、各々の大気中濃度について調査した。 $\text{NO}_2$ 及びCOはパッシブ・ドジチューブ(ガステック製No.9DL, No.1D, No.1DL)を用い、16日

点について24時間積算濃度を測定した。調査は1地点1～4日間実施した。NO<sub>2</sub>については、1999年10月に2日間、プノンペン市中心部で9:00～18:30まで約2時間間隔で大気を捕集し、modified Griess-Saltzman法1)により日内変動について調査した。SO<sub>2</sub>は分子拡散サンプリングハンディソノックス(グリーンブルー製)を用い、24時間或いは48時間積算濃度を測定した。PM<sub>10</sub>採取はハイボリュームエアサンプラー(柴田科学製HVS-500-10)で3地点1日2回(1回約1～2時間)実施し、また1地点については、NO<sub>2</sub>と同様に日内変動の調査を2日間(1日1.5時間6回)実施した。鉛濃度は、PM<sub>10</sub>を硝酸・過酸化水素法により湿式灰化し、ICP質量分析装置により測定した。

## 2-III-3) 研究成果

2-III-3) - i) パッシブ・ドジチューブによるNO<sub>2</sub>及びCO濃度

NO<sub>2</sub>濃度(ppm)の平均値±標準偏差(調査日数×調査地点数)は1998年10月:0.023±0.014

(24)、1999年2月:0.044±0.017(13)、1999年10月:0.018±0.006(17)、2000年4月:0.018±0.006(18)であり、1999年2月を除き約0.02 ppmであった。CO濃度(ppm)は1998年10月:3.3±0.9

(30)、1999年2月:3.4±1.3(13)、1999年10月:3.3±1.5(18)、2000年4月:2.7±1.8(21)であり、全調査時で約3ppmと類似したレベルであった。各調査地点間の濃度を調査年度別に比較すると、NO<sub>2</sub>は地点間であまり差がなかったが、COは交通量の多い地点で高値を示す傾向にあった。NO<sub>2</sub>及びCO濃度はWHOガイドライン(NO<sub>2</sub>:年平均値40 μg/m<sup>3</sup>=0.019ppm、CO:8時間値10,000 μg/m<sup>3</sup>=8ppm)以下のレベルであり、直ちにヒトの健康に影響を及ぼすものではないと推察される。

2-III-3) - ii) NO<sub>2</sub>及びPM<sub>10</sub>の日内変動(図2)

NO<sub>2</sub>及びPM<sub>10</sub>共に、7:00～9:00或いは17:00～18:30で高値を示す傾向にあった。プノンペン市ではこの時間帯前後が各々通勤・通学時間、帰宅時間帯に当たるため、交通量の増加を反映しているものと思われる。調査1日目と2日目では、変動パターンが異なったが、調査実施日は平日(水、木曜日)であり、測定時の気温や風速には大きな差はなかった。しかし、調査時は雨期であり、夜間から早朝の降雨の状況等が日間変動に影響を及ぼしているのかもしれない。

2-III-3) - iii) PM<sub>10</sub>及び鉛濃度(表1)

本調査のPM<sub>10</sub>は1日1～2時間の測定値であるが、WHOのAir Management Information Systemに報告されている都市の1995～96年のPM<sub>10</sub>レベル(年平均値0.05-0.10 mg/m<sup>3</sup>)に比べ、10倍以上高値を示した。WHOはPM<sub>10</sub>の0.01mg/m<sup>3</sup>上昇は、毎日死亡率0.7%上昇に関連すると推定しており、プノンペン市住民のPM<sub>10</sub>による健康影響が懸念される。鉛濃度は、1地点でWHOのガイドライン(年平均値0.5 μg/m<sup>3</sup>)を越えたが、その他の地点ではガイドラインより低いレベルであった。カンボジアで

は現在も加鉛ガソリンが使用されており、汚染の進行を防止するためにも、加鉛ガソリンの使用制限あるいは鉛添加許容量を定めるなどの対策が必要と考える。

2-III-3) - iv) 分子拡散サンプリングによるSO<sub>2</sub>濃度  
SO<sub>2</sub>濃度は全ての調査地点で検出限界以下(<0.004 ppm)のレベルであった。

## 3. 今後の課題と発展

### 3-I. 研究班全体の課題と発展

これまでの研究結果を基礎として、カ国政府に対して政策提言を行うことが可能な部分と、またさらに調査を継続していく部分を判断し、前者を念頭に置き現状の改善を考えつつ研究を継続していく必要があると考えた。またカ国環境省にはEU、日本等からの政府間援助が徐々に増加してきているため、諸国の研究者との情報交換も重要であると考えた。

### 3-II. 個別研究毎の課題と発展

プノンペン市の排水では、高濃度の有機物・窒素・リンだけでなく、先進国で問題になっている界面活性剤・有機塩素化合物・ビスフェノールAを含んでいた。これら物質の安全性について、市民は十分認識しているとは思われない。このため今後、教育・法規制などによって、適正な使用について普及徹底させ、また事業所排水に対しては排水規制を整備・強化していく必要がある。

排水中の重金属濃度は高く、特に乾季に排水路・湿地に蓄積した重金属が雨季の降雨の際に排出されている傾向が見られた。このため、雨が降り始める前、つまり乾季の終わりに、湿地・排水路の底質を浚渫することが、周辺環境への重金属汚染の広がりを防ぐ一つの方法だと考えられる。

有機塩素化合物については、母乳の分析をさらにすすめ、DDT汚染源の追跡調査を実施したい。また、都市ゴミ集積場におけるダイオキシン汚染とそのヒトへの影響の課題にも挑戦したい。

また、これまでの大気汚染調査結果は簡易測定法によるものであり、汚染状況を正確に把握するためには、標準的な測定方法による継続的な調査が必要である。しかし、現在、カ国では大気汚染に関する環境基準値がなく、測定機器や設備もほとんど整備されていない状況にあり、大気汚染監視システム構築が急務と考える。

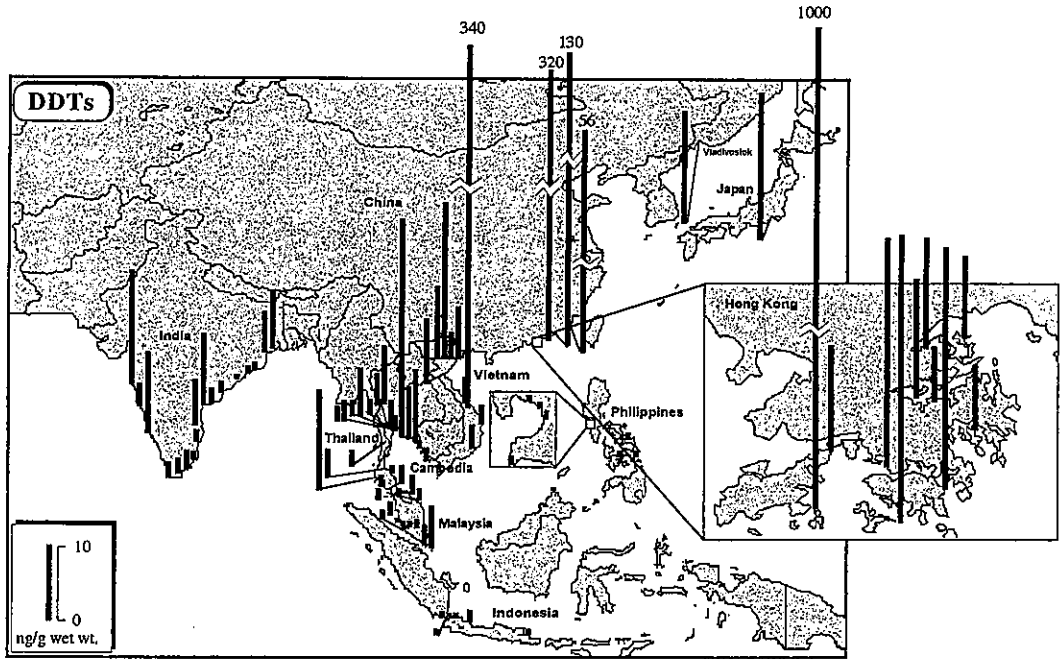


図1 カンボジアおよびアジア地域で採取したイガイの DDTs 汚染

Fig. 1. DDTs contamination in green mussels collected from Cambodia and other Asian countries.

図2 NO<sub>2</sub>及び粒子状物質 (PM<sub>10</sub>) の日内変動 (NO<sub>2</sub>: 2時間平均値, P M<sub>10</sub>: 1時間30分平均値)

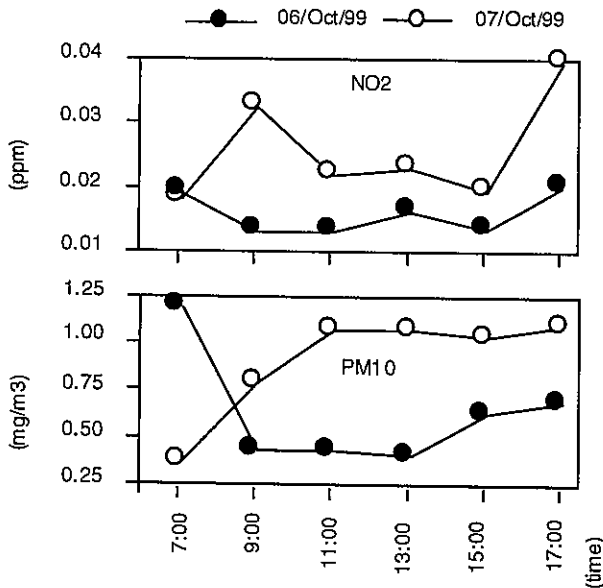


表1 粒子状物質 (PM<sub>10</sub>) 及び鉛濃度

St.No.	Sampling Time	mg /m <sup>3</sup>	
		PM <sub>10</sub>	Pb
05	9:10~ 11:30	2.8	0.33
	16:00~ 17:10	2.1	0.42
07	9:50~ 11:50	0.8	0.10
	15:15~ 17:00	0.5	0.10
14	9:40~ 11:10	2.4	0.68
	15:15~ 16:15	2.2	0.14