

カンボジア首都プノンペンおよび近郊の飲料水の水質について

Drinking Water Quality in and near Phnom Penh

竹内友規* 高橋敬雄**

Tomonori TAKEUCHI Yukio TAKAHASHI

ABSTRACT: Drinking water quality in Phnom Penh in Cambodia were measured from October to November in 1996. Samples were collected from a rural village (6 samples), a main water treatment plant in Phnom Penh City (5 samples) and tap water of Phnom Penh City (18 samples). In all samples except a well water (Its depth is about 40m) collected in the rural village contained many bacteria and coliform group bacteria, which exceeded WHO Guidelines for Drinking Water. The analytical results the samples from the water treatment plant showed that solid both suspended and soluble, and organic compounds in raw water were well removed in the treatment process and that bacteria and coliform group bacteria in the outlet water of the plant were fully disinfected by chlorine gas. But in the tap waters in Phnom Penh, bacteria and coliform group bacteria were detected so frequently. Their average TOC (5.6 mg/L) was much higher than that of the outlet water of the water treatment plant, which is understood that the outlet water of the plant was polluted in the distribution system of the city. The maximum, minimum and average of TOX in the tap waters is 127(μ g/L), 39, 86, respectively. The amount of THMs occupied 11% of that of TOX.

KEYWORDS: Developing countries, Phnom Penh, Drinking Water, Water Supply, *E. Coli*, TOX

1.はじめに

安全な飲み水の確保は、人間の生命と生活にとって必要不可欠なものである。しかし、多くの発展途上国では、衛生的な水が確保できず、水を媒介とした伝染病・寄生虫等が問題になっている¹⁾²⁾。カンボジアも例外ではなく、安全な飲み水を入手できる人の比率は、都市部で 65%、農村部で 33%しかなく、17.4%という高い 5 才未満児死亡率³⁾の原因になっている。

筆者の一人は、現在カンボジアで使われている飲料水水質を把握するために、1996 年 10 月から 12 月にかけて 2 ヶ月間現地に滞在し、プノンペン近郊の農村の飲料水、プノンペンの浄水場工程水、プノンペン市内の給水栓水の水質分析を行なった。本報では、この結果について報告する。

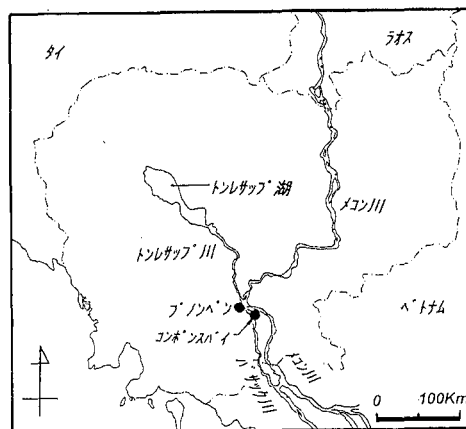


図-1 カンボジアの位置

* 新潟大学大学院自然科学研究科後期博士課程 Graduate School of Science & Technology, Niigata University

** 新潟大学工学部建設学科 Faculty of Engineering, Niigata University

2.カンボジアの概要

2.1.地理

カンボジアは、インドシナ半島の南東に位置する国土面積 181,035km² の国である(図-1)。国土の東部はメコン川が北から南に向かって流れ、西部にはトンレサップ湖が位置している。今回調査の中心である首都プノンペンには、メコン川と、トンレサップ湖から流れ出ているトンレサップ川の合流部に位置する交通の要衝である。カンボジアの気候は熱帯モンスーン気候に属し高温多湿で、季節は雨季(5月～10月)と乾季(11月～4月)に分かれる。総人口は957万人(1994年)で、首都プノンペンの人口は90万人(1991年)である⁴⁾。

2.2.飲料水と排泄習慣

カンボジアの農村部において、飲料水は①天水、②井戸水、③河川水、④池の水が主に用いられている。天水は、雨水を瓶のなかに蓄えておき用いるものである。一方、プノンペン市内では、これらに⑤水道水、⑥買水が加わる。買水は、売られている水を買うことで、河川水の沈後水や水道水が使われている。

今回の調査時に、プノンペン市内の56人の住民に、利用している水の種類について聞き取り調査を行なったところ、10人が水道水と答え、残りの46人は天水・井戸水・河川水と答えた。このことから、プノンペン市民にも、天水・井戸水・河川水を利用して生活している人が多く存在していることがわかる。

カンボジアの生活習慣で特徴的なものの一つは、住居にトイレを設置する習慣のないことである。トイレの設置率は都市部で16%にすぎず(地方健康局での聞き取りによる)、農村部ではゼロに近い。尿意・便意をもよおせば、物陰で済ますことになる。政府は設置補助事業、設置の必要性や使用法の教育を始めているが、十分な効果は上がっておらず、カンボジアの公衆衛生上の大きな課題になっている。

2.3.プノンペン市内の上水道システム

プノンペン市を図-2に示す。プノンペンは、東側をトンレサップ川・バサック川、西側を湿地帯に囲まれている。プノンペン市内には、Phum Prek 浄水場(計画浄水量 107,000 m³/日)と Chamcar Mon 浄水場(同 10,000m³/日)の2つ浄水場がある。このうち Phum Prek 浄水場はトンレサップ川の水を、Chamcar Mon 浄水場はバサック川の水を原水にしている、両浄水場とも急速濾過法を用いている。浄水場を出た水は、直接市内に配水されるか、市内の高架配水塔を経た後に配水される。

もともとプノンペン市内の水道システムはフランス植民地時代に造られたが、その後長い国内混乱のため維持管理がなされない状態が続いた。そのため管路の老朽化が顕著で、破断している箇所も多数ある。また配水管に穴をあけ水を盗むことや、水圧の低い蛇口で水を機械力を用い吸引・確保することなどが日常的に行われており、この結果、水圧の低下や負圧を生じ、汚水の水道管流入を助長し、水道水質を低下させる原因になっていると言われる。

1994年7月から1996年2月にかけて、日本の援助によって給水量の向上を目的に取水塔、Phum Prek 浄水場の電気設備・ポンプ設備、高架配水塔、市内の配水管の一部が復旧された。しかし、依然として配水管の殆どは、老朽化した状態のままである。図-2では水道水圧分布を併せ示した⁵⁾が、比較的水圧の高い地域(0.5kgf/cm²以上)は Phum Prek 浄水場とこれに連なる高架配水塔周辺、それに Chamcar Mon 浄水場周辺のみにとどまっていることがわかる。両浄水場の規模は既に述べたが、図-2より、Chamcar Mon 浄水場の配水域は、浄水場周辺に限られていることが示唆される。

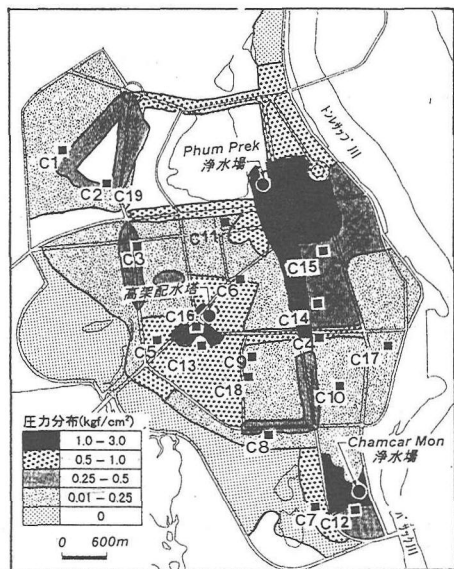


図-2 プノンペン市水道水の圧力分布と採水点(■)

3.研究方法

3.1.農村の試料

農村で採取した試料の概略を表-1 に示した。採取地はカンダール州コンボンスグアイ村で、プノンペンから車で 1 時間程南に下ったバサック川沿いに位置する。採水は、96 年 10 月 14 日、雨季の終わりに行った。

表-1 農村試料の概要

番号	採水日	試料の概要
A1	10/14/96	コミュニティーセンターでもある寺で使われている天水
A2	10/14/96	小学校内にある深さ45mの手動ポンプ式井戸で、乾季に飲料水等に使用
A3	10/14/96	深さ5mで20×30mのため池の表層水、乾季に飲料水等に使用
A4	10/14/96	バサック河畔にある深さ7mの井戸水
A5	10/14/96	バサック河の水、川岸から採取
A6	10/14/96	メコン河の水、川岸から採取

3.2.Phum Prek 浄水場の試料

今回調査した Phum Prek 浄水場は急速濾過法を用い、凝集剤は硫酸アルミニウム、凝集助剤は石灰であった。塩素は、混和池と浄水工程の最後の 2 箇所で注入する。薬品は、石灰を除きベトナムから輸入しており、質も悪く、量も不足しているとのことであった(現地、聞き取りによる)。試料は着水井(B1)、フロック形成池(B2)、沈殿池入口(B3)、急速濾過池入口(B4)、浄水場出口水(B5)でそれぞれ採取した。採水は、1996 年 10 月 18 日に行った。

3.3.プノンペン市内の試料

プノンペン市内で 18 箇所の水道水と一箇所の井戸水を採取した。採水地点を、図-2 に C1～19 として示した。試料は、受水槽を持たない一般家庭の蛇口水、もしくは、事務所として使用されている建物の受水槽に貯める前の水を直接採取した。C2 は、水道水水質に関する苦情の多い地区、C15 は朝は濁った水が出る場所、C17 は水圧が低く蛇口にポンプをつなげ水を吸い出し利用している場所である。C19 は井戸水で、C2 を採取した家庭にあり、水質の悪い水道水の代わりに用いられていた。C6、C13、C16 は復旧された配水管と高架配水塔の配水区に入る。

C1、C2、C19 は 1996 年 10 月 16 日に、C3、C4 は 1996 年 12 月 6 日に、C5、C6 は 12 月 7 日に、その他の試料は 12 月 10 日に採取した。また、C7、C9、C11 の 3 箇所は、10 月 24 日から 12 月 2 日まで、一週間毎に水質測定をした。試料採取日は、日本帰国後、速やかに TOC・TOX・GC-MS の測定ができるよう、帰国直前の 12 月、特に 10 日に集中させた。

3.4.分析項目

分析項目は、気温・水温・透視度・濁度・色度・pH・残留塩素・一般細菌・大腸菌群・全有機炭素(TOC)・全有機ハロゲン化合物(TOX)と、水道水水質基準に定められた揮発性有機化合物のうち、基準項目 16 種、監視項目 7 種⁶⁾をヘッドスペース法による GC-MS で測定した。TOC・TOX・GC-MS の分析は、上述のように日本に持ち帰り行い、その他の指標は現地で測定した。

気温・水温は、ガラス製棒状温度計を用いた。透視度は透視度管を用いて測定したが、農村の試料は上限が 100 度(cm)のものを、浄水場・プノンペン市内の試料は上限が 30 度のものを用いた。濁度・色度は共立理化学製の濁度色度計 WA-PT-4S、pH は HORIBA twin pH B-212、残留塩素はシバ科学製の残留塩素測定器(オルトリジン比色法)、一般細菌はシバ科学製の一般細菌試験紙、大腸菌群はシバ科学製大腸菌群試験紙をそれぞれ用いた。一般細菌・大腸菌群は、無希釈試料で試験した。全有機炭素(TOC)は島津製作所 TOC-5000、全有機ハロゲン化合物(TOX)は三菱化成 TOX-10Σをそれぞれ用いた。GC-MS 分析は、GC 装置に島津製作所の GC-17A、MS 装置に QP-5000 を用いて行なった。キャピラリーカラムは、J&W scientific-社製の DB624P/N123-1364 を用いた。

TOX・GC-MS 分析用の固定済試料と一般分析用試料を日本に持ち帰ることは、物理的に出来なかったため、やむなく利用範囲の広い無固定の試料のみを、採取後直ちに冷蔵し、速やかに日本に持ち帰って TOC・TOX・GC-MS の分析に供した。

3.5.簡易分析法の精度の検討

(1) 一般細菌・大腸菌群

現在のカンボジアでは、孵卵器とオートクレーフを備えた施設は皆無に等しく、加えて停電が多いため、通常の平板培地を用いた一般細菌・大腸菌群の試験は容易に行えない。またカンボジアの関係者にとって、これらの器具は高価で手が届かず、操作も簡単には習得できない。それゆえカンボジアでの調査では、簡便な試験紙を継続的に使用できることが望ましい。そこで、カンボジアでの使用に先立って、シバ科学製の一般細菌・大腸菌群試験紙の精度を検討するために、下水試験法で示された平板培養法⁷⁾との比較試験を行なった。

すなわち、試料として、新潟市近郊の都市河川水 8 試料を用い、各試料を 10 倍、100 倍、1,000 倍、10,000 倍に希釈し平板培養法と簡易測定を行ない比較した。図-3 に一般細菌、図-4 に大腸菌群の、それぞれ菌が検出された試料の結果を示した。どちらの図も X 軸に平板培養法によって得られたコロニ数、Y 軸に試験紙によって得られたコロニ数を示す。それぞれの結果の相関は、一般細菌で 0.859、大腸菌群で 0.928 と高い正の相関を示した。一般細菌は平板培養と試験紙の間に、 $y=0.1869x+5.7911$ という関係があり、平板培養法の結果は、試験紙の結果の約 5.5 倍だった。試験紙の取扱い説明書にも、試験紙の結果に 3~10 の補正係数を乗ずることにより、一般細菌数を

得ることができるという記述があり、それと一致した。大腸菌群には、取扱説明書に補正係数の記述はないが、平板培養法の結果は、試験紙の結果の約 1.5 倍だった。以上のことから、今回使用した試験紙は、値が小さく出ることを考慮に入れば、一般細菌・大腸菌群の値を、ほぼ正確に得ることができ、通常の平板培養法との比較が可能であると考えられる。

(2)濁度・色度

大腸菌群・一般細菌の場合と同様に、共立理化学製の濁度・色度計の精度を検討するために、上水試験法にある透過光測定法⁸⁾との比較試験を行なった。試料として新潟市近郊の都

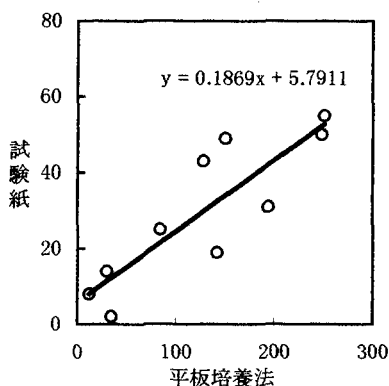


図-3 一般細菌試験方法の比較

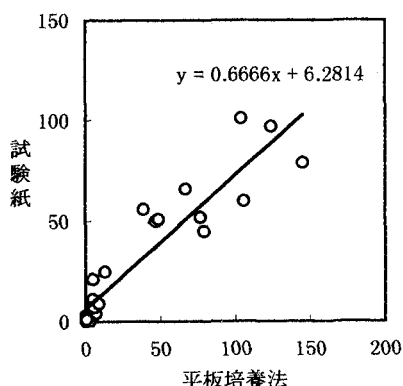


図-4 大腸菌試験方法の比較

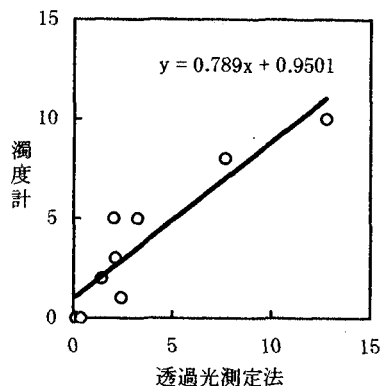


図-5 濁度試験方法の比較

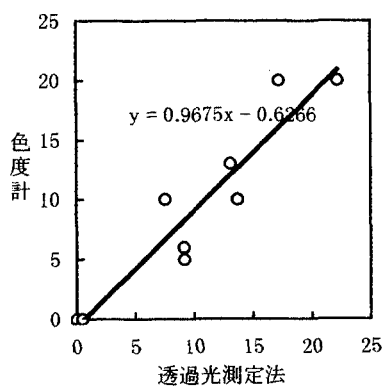


図-6 色度試験方法の比較

市河川・湖・新潟県内の水道水 9 試料を用いた。今回使用した濁度・色度計の測定の上限は濁度 15 度、色度 20 度だったため、上限値を超えた試料は、希釈し比較試験を行なった。

図-5 に濁度の結果を、図-6 に色度の結果を示す。どちらの図も、X 軸に透過測定法の結果、Y 軸に濁度色度計による結果を示してある。濁度は、5 度以下で若干ばらつきが見られたものの、相関を取ると濁度で 0.9410、色度で 0.9133 とそれぞれ高い正の相関を示した。この結果から、今回用いた濁度・色度計で正確な値が得られることがわかった。

4.結果と考察

4.1.農村部

農村部で採取した飲料水の結果を表-2 に示す。一般細菌・大腸菌の結果は、3.5 で述べた係数による補正を行っておらず、試験紙で得られた結果をそのまま示してある。表-3、表-4 についても同様である。また一般細菌・大腸菌群で「>250」と表記してあるものは、試験紙一面にコロニーが広がり、カウント出来なかったものである。大腸菌群は、A2 を除きカウント出来なかった。WHO 飲料水水质ガイドラインでは、大腸菌群数は「検出されないこと」になっており、A2 の井戸水(深さ 45m)以外は基準を大きく上回り、そのままでは飲用に供せない水であることがわかった。一般細菌・大腸菌群ともにコロニー数が多く計測不能だった A3 の水の飲み方を住民に質問したところ、「煮沸せず直接飲む、慣れないと下痢をする」との回答があり、直接的・急性の伝染病・疾病との関連は意識していないようだった。

TOC は、A3(溜池水)を除いて、すべての試料で 2~4 mg/L だった。A3(溜池水)は pH が 8.4、DO が 9.1 mg/L と高く植物プランクトンの光合成が盛んな事が示唆された。次に TOX は、A6(メコン河)が 3.1 μ g/L だったのを除き、いずれの試料も 3.0 μ g/L 以下と低かった。また、ヘッドスペース法による GC-MS 分析の結果から、有機ハロゲン物質もほとんど検出されなかった。しかしトルエンが、A2 で 0.8 μ g/L を最高に、何れの試料からも 0.7 μ g/L 前後検出された。

表-2 農村飲料水の水質

	A1 天水	A2 井戸(深45m)	A3 溜池	A4 井戸(深7m)	A5 ハサック河	A6 メコン河
気温(℃)	26.7	32.0	31.0	30.5	30.8	28.5
水温(℃)	23.4	29.0	30.2	28.0	28.9	28.0
pH	7.1	7.2	8.4	7.9	7.9	7.9
透視度(度)	>100	>100	13.7	45.9	9.4	5.8
DO(mg/L)	7.4	1.4	9.1	5.2	5.7	6.2
色度(度)	20	N.D.	>20	15	>20	>20
濁度(度)	>15	N.D.	>15	3	>15	>15
一般細菌(個/mL)	>250	5	>250	189	111	185
大腸菌群(個/mL)	>250	N.D.	>250	>250	>250	>250
TOC(mg/L)	4.4	3.3	10.0	2.7	2.1	2.6
TOX(μ g/L)	2.7	N.D.	2.2	1.4	1.3	3.1

表-3 浄水場各工程の水質

	B1 着水井	B2 フロック形成池	B3 沈殿池入口	B4 濾過池入口	B5 出口水
気温(℃)	34.0	34.0	32.5	32.8	30.8
水温(℃)	30.0	30.5	30.6	30.0	29.8
残留塩素(mg/L)		-	0.05>	0.05>	1.2
pH	7.6	7.3	7.2	6.2	6.0
透視度(度)	9.0	-	>30	28.5	N.D.
DO(mg/L)	4.7	-	4.1	4.8	6.3
色度(度)	>20	-	20	20	N.D.
濁度(度)	>15	-	5	5	N.D.
一般細菌(個/mL)	24	-	176	113	N.D.
大腸菌群(個/mL)	39	-	>250	>250	N.D.
TOC(mg/L)	4	2.5	2	4.1	2.1
TOX(μ g/L)	N.D	3.5	N.D.	4.5	168
クロロホルム(μ g/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	19.5
ブロジクロロメタン(μ g/L)	0.1	N.D.	0.2	N.D.	0.9
ジブロクロロメタン(μ g/L)	0.1	N.D.	0.2	0.3	0.1
ブromoホルム(μ g/L)	N.D.	0.3	0.3	N.D.	N.D.

4.2.浄水場

(1)一般指標

浄水場で採取した試料の測定結果を表-3 に示す。B2(フロック形成池)は、気温・水温・pH・TOC・TOX・GC-MS のみ分析した。透視度は、浄水工程の中で漸減していく傾向は示さずに、工程が終わった段階で一気に減少し、濁度・色度を含めて 0 度になった。また大腸菌群・一般細菌数は、浄水工程に入って一旦は増加するが、後塩素処理が終わった段階で不検出になった。pH は処理が進むにつれて、酸性側に变化していった。TOC は原水で 4mg/L だったが、処理終了後で 2.1mg/L に減少した。日本の新潟県下 8 浄水場において、原水の TOC が 3mg/L 前後だったものが、給水栓では約 1mg/L づつ減少していたという報告があるので、今回得られた結果は日本で得られた結果とほぼ同等だったと言える。また、浄水場を出る段階(B5)で、すべての指標が日本の水質基準⁵⁾を満たしていた。

しかしこの浄水場の計装化・電算化は始まったばかりと言ってよく、原水水質に時々刻々対応した凝集剤や塩素の注入管理は行われていないに等しい。このため、良好な浄水が常時得られているかどうかは、引き続き調査を行い明らかにしていく必要がある。

(2)TOX・GC-MS 分析の結果

TOX の結果とトリハロメタンの結果を図-7 に示す。TOX、トリハロメタンは浄水が終わった段階(浄水場出口水、B5)で増加していた。GC-MS で分析したトリハロメタン構成 4 物質のうち、クロロホルムが最も大きな割合を占めていた。浄水が終わった段階で TOX 中にトリハロメタンが占める割合は、9.0%だった。今回検出された他の揮発性有機ハロゲン化合物を加えても TOX 中に占める割合は 9.1%に満たなかった。有機ハロゲン物質以外のものでは、農村の試料同様にトルエンが濾過池入り口で 1.6 μg/L を最高に、全ての試料で検出された。

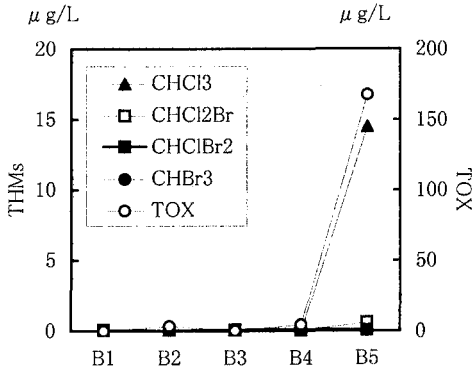


図-7 浄水場でのTOX・THMsの変化

表-4 ブナハン市内の水道水の水質結果

試料	気温 ℃	水温 ℃	透視度 度	pH	残塩 mg/L	DO mg/L	濁度 度	色度 度	一般細菌 個/mL	大腸菌 個/mL	TOC mg/L	TOX μg/L	THMs μg/L	CHCl ₃ μg/L	CHCl ₂ Br μg/L	CHClBr ₂ μg/L	CHBr ₃ μg/L
C1	31.0	28.6	>30cm	7.4	0.1	7.3	N.D.	N.D.	26	N.D.	1.6	81	14.5	13.6	0.9	N.D.	N.D.
C2	30.5	28.7	7.4	7.4	N.D.	2.4	10	>20	>250	>250	11.3	39	7.0	6.1	0.4	0.1	0.4
C3	28.3	28.1	>30cm	7.2	0.05>	7.2	0.5	2	55	3	7.2	89	26.5	13.3	N.D.	N.D.	13.2
C4	27.5	26.7	>30cm	7.1	0.05>	6.8	N.D.	N.D.	86	34	11.0	75	15.0	13.2	1.2	0.6	N.D.
C5	27.0	27.5	>30cm	7.5	0.05>	6.8	N.D.	N.D.	98	50	8.8	88	11.8	11.0	0.7	N.D.	N.D.
C6	26.8	26.5	>30cm	7.4	0.08	6.8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7.6	114	23.3	15.5	N.D.	N.D.	7.8
C7	24.1	25.6	>30cm	7.8	0.1	6.7	N.D.	N.D.	7	N.D.	5.3	116	25.8	17.1	0.5	N.D.	8.2
C8	23.1	27.4	>30cm	7.5	0.05>	7.8	N.D.	N.D.	74	16	7.1	127	15.5	15.5	N.D.	N.D.	N.D.
C9	25.6	26.7	>30cm	7.5	0.05>	6.8	N.D.	N.D.	8	9	10.1	60	8.2	8.2	N.D.	N.D.	N.D.
C10	26.0	27.0	>30cm	7.3	0.05>	6.7	N.D.	N.D.	21	9	2.7	71	9.2	9.2	N.D.	N.D.	N.D.
C11	28.0	27.8	>30cm	7.2	0.06	6.4	N.D.	N.D.	32	N.D.	3.9	75	10.0	10.0	N.D.	N.D.	N.D.
C12	24.6	26.8	>30cm	8.0	0.05>	7.4	N.D.	N.D.	38	6	2.9	90	11.3	10.7	0.6	N.D.	N.D.
C13	30.3	27.2	>30cm	7.3	0.05>	7.2	N.D.	N.D.	2	1	3.2	58	9.6	9.6	N.D.	N.D.	N.D.
C14	26.9	27.0	>30cm	7.3	0.05>	7.6	N.D.	N.D.	12	1	3.7	99	8.6	8.4	0.2	N.D.	N.D.
C15	28.0	30.0	>30cm	7.5	0.05>	7.6	N.D.	4	240	15	3.7	65	9.0	8.0	1.0	N.D.	N.D.
C16	28.0	28.1	>30cm	7.3	0.06	7.9	N.D.	N.D.	3	N.D.	4.0	101	16.7	9.0	N.D.	N.D.	7.7
C17	27.0	29.0	>30cm	7.6	N.D.	7.5	N.D.	2	53	5	3.3	95	16.9	9.1	N.D.	N.D.	7.8
C18	27.0	27.1	>30cm	7.6	0.05>	6.5	N.D.	N.D.	67	18	3.8	106	20.3	9.7	0.3	N.D.	10.3
C19	31.5	29	17.8	8.0		2	8	20	25	2	18.1	7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

※THMs(トリハロメタン)、CHCl₃(クロロホルム)、CHCl₂Br(ブロモジクロロメタン)、CHClBr₂(ジブロモクロロメタン)、CHBr₃(ブロモホルム)。

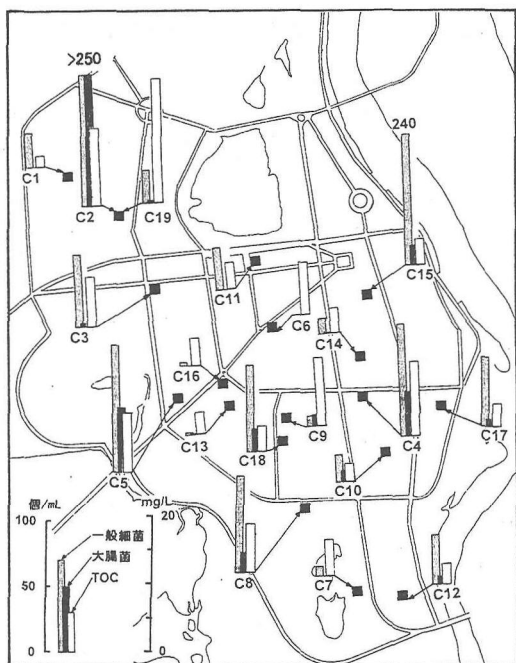


図-8 プノンペン市内の TOC・一般細菌・大腸菌群

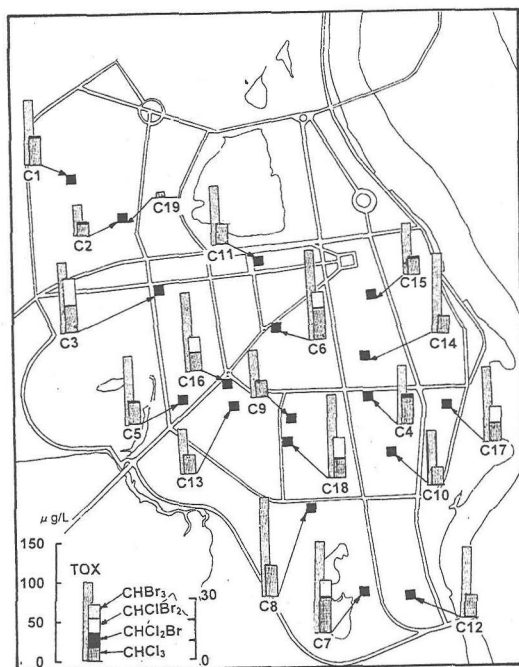


図-9 プノンペン市内の TOX・THMs

4.3.市内一斉採水

(1)一般指標の結果

市内で採水した水道水 18 サンプルと井戸水 1 サンプルの結果を表-4 に示す。残留塩素の結果は、ほとんどの地点で 0.05mg/L 以下だった。Phum Prek、Chamcar Mon 両浄水場に近い C7、C11、また復旧工事が行なわれた高架配水塔付近の C6、16 の残留塩素は、他の地点に比べて若干高い値を示した。C2、17 は、残留塩素が検出されなかった。

次に、TOC・一般細菌・大腸菌群の結果を図-8 に示す。一般細菌は 18 地点で、大腸菌群は 14 地点で検出された。C2 の一般細菌・大腸菌群は、試験紙一面にコロニーが広がりカウントできなかった。また、C5、C15 の一般細菌数は多かった。水道水の TOC は、最大 11.3 mg/L、最小 1.6 mg/L、平均 5.6 mg/L だった。特に、水道水水质に関する苦情が多い C2 をはじめ、C4、C9 で 10 mg/L を超えた。採水した時期に違いがあるものの、市内給水栓から採取した水の TOC は、浄水場を出た段階(B5)での TOC 2.1 mg/L を大きく上回った。C19(井戸水)に関しては、TOC が 18.1mg/L と高かった。

一般細菌・大腸菌群・TOC の多さの原因としては、個別給水管に係るものと配水管(網)に係るものとが考えられるが、個々の給水管の長さは短く構造は単純であり、一方、配水管は 1970 年以降ごく最近まで維持管理されず老朽化が極限まで進んでいることから、原因の多くは配水管が負っていると考えられた。すなわち配水管網に悪水が浸入していることが水質を悪くしていると考えられた。

(2)TOX と THMs の結果

TOX とトリハロタン 4 物質の結果を図-9 に示す。水道水の TOX は、最大 127 $\mu\text{g/L}$ 、最小 39 $\mu\text{g/L}$ 、平均 86.0 $\mu\text{g/L}$ だった。1991 年、札幌市・仙台市・新潟市・東京都・長野市・更埴市・名古屋市・大阪市・福岡市の 9 都市で、8 月末から 10 月初めにかけて採取した水道水の TOX 量は、最大 131 $\mu\text{g/L}$ 、最小 6 $\mu\text{g/L}$ 、平均 79 $\mu\text{g/L}$ だった¹⁰⁾ので、プノンペン市水道水の TOX 値は、最大値と平均値において、上記の我国都市とほぼ同じ水準にあると言える。

トリハロタン構成 4 物質に関しては、クロロホルムが最も高く検出された。しかしプロモホルムが C2、C3、C6、C7、C16、C17、

C18の7地点で最大13.2 $\mu\text{g/L}$ 、最小0.4 $\mu\text{g/L}$ 、平均7.9 $\mu\text{g/L}$ 検出された。その他、ブロモシクロメタンは9地点で、ジブロモシクロメタンは2地点で僅かに検出された。水道水中のトリハロメタン4物質の構成比は、原水の水質によって決まる¹¹⁾が、プノンペン市内の水道水は、ブロモホルムが検出される所とされない所に分かれた。配水管・給水管の破断箇所から汚水等が流入し、このような差が生じたと考えられた。TOX に対するトリハロメタン4物質の占める割合の平均は11%で、日本の9都市の平均値30%⁹⁾に比べると小さな値を示した。

(3)全有機ハロゲンの結果

トリハロメタンを除いたGC-MS分析の結果を表-5に示す。PCEが6地点で最大3.6 $\mu\text{g/L}$ 、TCEが8地点で最大5.2 $\mu\text{g/L}$ 検出された。また、trans-1,3-DCPPenも8地点で検出された。今回測定した揮発性有機ハロゲン物質がTOX の中で占める割合は、平均16%に満たなかった。農村・浄水場で採取した試料で検出されたトルエンは、10地点で最大2.2 $\mu\text{g/L}$ 検出された。

(4)Chamcar Mon 浄水場の機能評価

Phum Prek、Chamcar Mon 両浄水場の位置と配水区分については2.3で述べた。Chamcar Mon 浄水場は、今回調査していない。しかし図-8と図-9より、Chamcar Mon 浄水場近傍の蛇口水質は、Phum Prek のそれと同じかより良好であったので、Chamcar Mon 浄水場もPhum Prek 浄水場とほぼ同等に機能し、同等の質の水が配水されていると推察される。

4.4.定期採水の結果

定期採水を行ったC7、C9、C11の残留塩素の結果を図-10、大腸菌群の結果を図-11に示す。残留塩素は、C9、C11では、時間の経過に伴い値が減少する傾向を示した。C7は、11月4日まで増加する傾向を示し、11月11日以降は値が減少した。また、大腸菌群の結果は、採水日によって変動する傾向がみられた。図には示さなかったが、一般細菌に関しても大腸菌群と同様の傾向がみられ、プノンペン市内の給水栓水の水質は一定でないことが示唆された。

表-5 プノンペン市内水道水のGC-MSの分析結果

試料	検出数	最大	最小	平均
CCl_4	8	0.5	0.1	0.1
シクロメタン	3	2.3	0.1	0.1
PCE	6	3.6	0.1	0.4
TCE	8	5.2	0.1	0.9
1,1-DCE	2	0.3	0.1	0.0
t-1,2-DCE	0	0.0	0.0	0.0
c-1,2-DCE	1	0.8	-	0.0
1,1,1-TCA	7	1.2	0.1	0.1
1,1,2-TCA	7	7.6	3.6	2.1
1,2-DCA	4	1.3	0.3	0.2
1,2-DCP	6	2.0	1.4	0.5
c-1,3-DCPPen	3	2.7	2.5	0.4
t-1,3-DCPPen	8	5.1	0.9	1.0
Bz	1	0.1	-	0.0
トルエン	10	2.2	0.5	0.6
1,4-DCBz	5	1.5	0.1	0.1
m,p-Xy	2	0.4	0.3	0.0
o-Xy	5	0.4	0.1	0.1

※ CCl_4 (四塩化炭素)、PCE(テトラクロエチレン)、TCE(トリクロエチレン)、DCE(ジクロエチレン)、TCA(トリクロエタン)、DCE(ジクロエタン)、DCP(ジクロプロベン)、DCPPen(ジクロプロベン)、BZ(ベンゼン)、DCBz(ジクロベンゼン)、Xy(キシレン)。

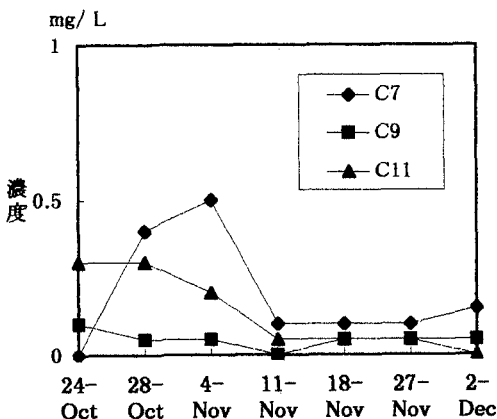


図-10 残留塩素の経日変化

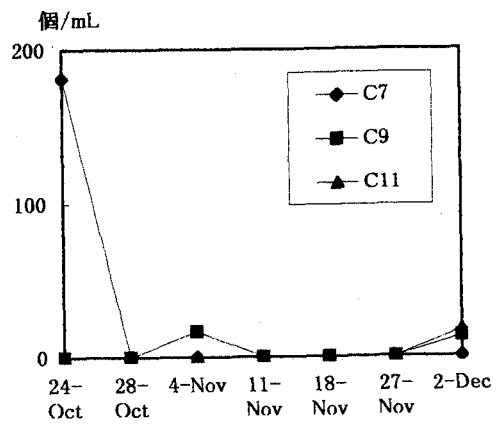


図-11 大腸菌の経日変化

5. まとめ

現在、カンボジアで使用されている飲料水の水質評価をするために、96年10月から12月にかけて2ヶ月間、プノンペンに滞在し、首都プノンペンの水道水とプノンペン近傍の農村で使用されている飲料水の水質調査を行なった。その結果、以下のことがわかった。

- 1)農村で使われていた飲料水からは、深さ約40mの井戸を除き、一般細菌・大腸菌群が多く検出され、そのままでは飲用に適さない水が利用されていることがわかった。
- 2)農村で採取した試料のTOXは、いずれも低い値を示した。また、トルエンがすべての試料から検出されたのを除いて、有機溶剤は僅かにしか検出されなかった。
- 3)首都プノンペン最大のPhum Prek浄水場から配水される水道水は、一般細菌・大腸菌群は不検出で、濁度・色度も0度で飲用に適していた。
- 4)プノンペン市内の給水栓から得られた水の残留塩素は、殆どが0.05mg/L以下で、一般細菌・大腸菌群も検出されるところが多かった。また、浄水場から出た時のTOCは2.1mg/Lだったが、市内のTOCの平均値は5.6mg/Lだった。これは、配水管水圧が老朽化や一般家庭の水の吸引によって低下し、その結果、汚水が配水管内に流入し、本来の水道水が汚染されていることによって生じていると考えられた。
- 5)プノンペン市の水道水のTOXの平均は86 μ g/Lで、日本の9都市の平均値に近かった。また、TOXに対するトリハロメタンの占める割合は、11%だった。トリハロメタンは、クロロホルムが最も多く検出された。また、ブロモホルム検出された所もあった。
- 6)プノンペン市内で定期的に採取した水道水の残留塩素・一般細菌・大腸菌群の値は、日毎変動する傾向を示し、市内の給水栓の水は一定の水質が保たれていないことが示唆された。

以上、カンボジアの農村部の飲料水は、殆どがそのままでは飲用できない水質だった。プノンペンの上水道に関しては、老朽化した配管設備の復旧・更新が必要である。聞き取り調査の結果、プノンペン市内でも飲料水として川の水・井戸水を用いている人々が多くおり、これらの水は、農村同様に、飲用に適さないと推測でき、結局、水道水利用者を含め、市内に住む人々の多くは、非衛生的な水を飲料水として用いていると結論された。

都市や農村の飲み水が一般細菌や大腸菌群で汚染されている事実は、2.2で述べたトイレを使う習慣がないことと深くかかわっており、また1.で述べた5歳児未満死亡率の高さ(多くは下痢で脱水症状を起こし死ぬ)の一因となっていると考えられた。

今回の調査は、雨季の終わりにから乾季の初めにかけて行なった。雨季と乾季では、カンボジアの陸水は、水量・濁度・水温等が大きく変化する¹²⁾ので、都市部で用いられている河川水・井戸水を含め、今後も調査を継続していく必要がある。

<引用文献>

- 1) 眞柄泰基・箕輪真澄、環境衛生施設の公衆衛生対策における役割、環境情報科学、10巻、1号、pp.24-31、1981。
- 2) 斎藤博康監修、開発途上国の水・くらし・衛生(I)、水道協会雑誌、61巻、12号、pp.67-78、1992。
- 3) ユニセフ世界子供白書、1997。
- 4) 百科年鑑1996、pp.297-298、平凡社。
- 5) プノンペン市水道局(Phnom Penh Water Supply Authority)資料による。
- 6) 厚生省令第69号、平成4年12月21日。
- 7) 下水試験法1984年版、pp.401-403、日本下水道協会。
- 8) 上水試験方法1993年版、p.65、p.74、日本水道協会。
- 9) 鹿田雄喜・田中一浩・守田康彦・高橋敬雄、種々の条件下における水道水中の全有機塩素及びトリハロメタン量について(第2報)、環境化学、3巻、1号、pp.91-96、1993。
- 10) 田中一浩・守田康彦・鹿田雄喜・高橋敬雄、種々の条件下における水道水中の全有機塩素及びトリハロメタン量について(第1報)、環境化学、3巻、1号、pp.85-89、1993。
- 11) 高橋敬雄・田中一浩・鹿田雄喜・松田哲・守田康彦、新潟県下主要都市の水道水中のトリハロメタン量、環境化学、2巻、1号、pp.53-63、1992。
- 12) カンボジアの水産事情、pp.15-17、日本水産資源保護協会。