

カンボジア・アンコール遺跡地域における大気汚染の現状

金沢大学大学院自然科学研究科

村瀬高広

金沢大学大学院自然科学研究科

正会員 古内正美

金沢大学大学院自然科学研究科

塚脇真二

カンボジア・エネルギー・鉱工業省

Sotham Sieng

カンボジア・アンコール遺跡保護機構

Peou Hang

1. はじめに

アンコール遺跡地域の観光産業の急速な発展により、隣接するシェムリアップや遺跡地域の人口が著しく増加している。このような社会的な状況の急変は、遺跡地域に深刻な環境影響を引き起こしている可能性が高い。大気汚染が進めば、アンコール遺跡の保存状態と人間の健康だけでなく生物多様性にも大きな影響を及ぼすことが懸念される。大気汚染を改善するためには、まず汚染の現状を把握することが急務であるが、同地域では最近になってアンコール遺跡保護機構 (APSARA) によるガス状汚染物質のモニタリングが始められたばかりで、大気汚染に関するデータはほとんどない状況である。本研究では、アンコール遺跡周辺の大気環境保全のファーストステップとして、この地域の大気汚染の現状評価と関連する発生源の影響に考察を加えた。

2. サンプルング及び分析

2005年5月と9月に同時サンプルングを実施した地点と遺跡保護機構 (APSARA) によるガスモニタリング点を Fig.1 中に示す。すなわち、1)アンコール遺跡地域 (アンコールワット)、2)シェムリアップ市街地 (タップルームホテル)、3)クロム山 (トンレサップ湖畔の山 (標高約 200m) の3箇所と2箇所の APSARA 観測点 (アンコールワット前、遺跡区域入口) である。大気中の全粒子状物質 (TSP) を携帯型ハイボリュームエアサンプラ、粒子径別 ($>10\mu\text{m}$, $10\text{--}2.5\mu\text{m}$, $<2.5\mu\text{m}$ (PM2.5)) サンプルをカスケードインパクトによって捕集した。また NO_2 をパッシブサンプラで捕集した。

石英繊維フィルターに捕集された粒子中の PAHs をベンゼン/エタノール (1:3) 混合液中で超音波抽出、減圧乾固を行った後 HPLC (蛍光検出器: アセトニトリル・超純粋混合液キャリア, Intersil ODS-P) で分析した。分析対象とした PAHs は, Nap, Ace, Fle, Phe, Ant, Flu, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF, BaP, DBA, BghiPe, IDP の 15 種類である。人為起源の寄与を考察するため、ここでは 4 環以上 (Flu 以降) に着目した。全炭素成分 (TC) および有機炭素 (OC) は CHNS 元素分析装置で分析した。ただし、 $\text{He}+10\%\text{O}_2$, 1150°C と He (無酸素)、 350°C の条件下で測定される炭素濃度をそれぞれ TC、OC 濃度と定義した。 NO_2 濃度はフィルタバッジを発色液中で振盪抽出した後、発色液の吸光度を 545nm の波長で測定して求めた。

3. 結果と考察

3.1 微粒子とガスの汚染物質の濃度

微粒子およびガスの汚染物質の平均濃度を Table1 に示す。DW&F, APSARA による 2004 年 2 月から 2005 年 5 月の間のガス状汚染物質のモニタリングデータも併せて示す。国道 6 号線の道路舗装状態は比較的良好なので道路粉塵飛散の影響をあまり受けていないが、市街地 (タップルームホテル) の TSP 濃度は、道路粉塵

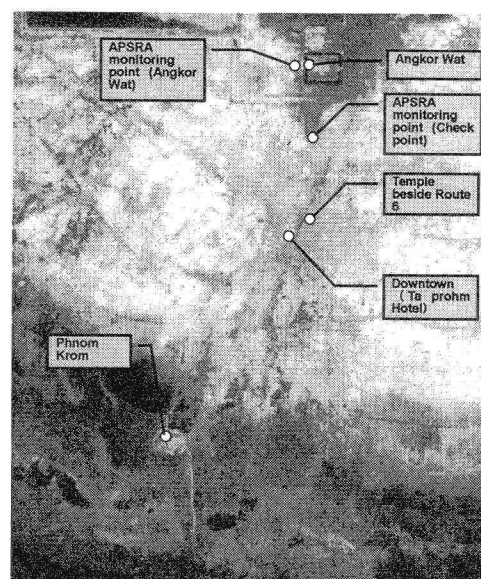


Fig.1 サンプルング場所

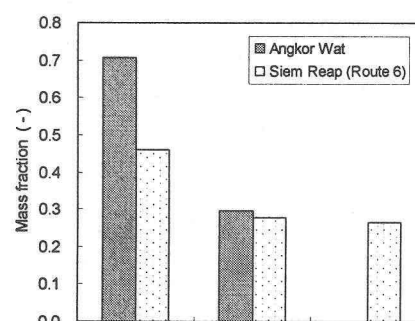
Fig.2 捕集された粒子径別の質量分率
(国道 6 号線, アンコールワット)

Table1 微粒子とガスの汚染物質の濃度

	Angkor Wat		Route 6	Downtown	Phnom Krom	Check point
	Inside	Front				
TSP (μg/m ³)	33.1±0.4(n=2)	-	135.5(n=1)	431.3±240(n=2)	51.3(n=1)	-
> 10μm (μg/m ³)	< 0.1(n=1)	-	35.8(n=1)	-	-	-
2.5-10μm (μg/m ³)	9.8(n=1)	-	37.3(n=1)	-	-	-
< 2.5 μm (μg/m ³)	23.5(n=1)	-	62.4(n=1)	-	-	-
NO ₂ (ppb)	11.8±5(n=2)	13.9±4(n=21)	15.3(n=1)	11.0±1(n=2)	7.03(n=1)	10.0±6 (n=21)
SO ₂ (ppm)	-	<0.02(n=21)	-	-	-	<0.02(n=21)
CO (ppm)	-	0.95±0.2(n=21)	-	-	-	0.78±0.3(n=21)

Table2 炭素濃度

Sampling site	TC		OC		EC		OC/TC	EC/TC
	(μg/m ³)	(%)	(μg/m ³)	(%)	(μg/m ³)	(%)	(-)	(-)
Angkor Wat (n=1)	9.68	29.5	2.24	6.85	7.43	22.7	0.23	0.77
Downtown (n=2)	50.1±25	11.9±0.8	9.1±6.5	2.0±0.4	41.0±19	9.8±1.2	0.17±0.04	0.83±0.04

の飛散のために非常に高い。アンコールワットの TSP 濃度は人為起源影響が少ないと考えられるクロム山よりわずかに低くなった。NO₂ と CO 濃度は道路交通影響の指標となるが、NO₂ はアンコールワット前と国道 6 号線側道で同程度になった。CO は遺跡区域入口のチェックポイントよりもアンコールワット前でより高くなっている。Fig.2 は、国道 6 号線近傍の寺院およびアンコールワット内での粒子径の質量比率を比較したものである。PM2.5 の濃度は Table1 中の国道 6 号線でアンコールワット内の約 3 倍高いが、質量比率はアンコールワットで高い。これらの結果から、アンコールワット周辺の道路交通起源が大きく影響し、市街地から微粒子の輸送の可能性が考えられる。

3.2 炭素と PAHs 濃度

炭素分析の結果を Table2 にまとめる。市街地(タップルームホテル)の平均 TC 濃度は、アンコールワットの約 5 倍以上あるが、粒子中の TC 質量分率はアンコールワットで約 30%と高くなっている。また、OC/EC 比率は両地点で比較的類似している。これは、Fig.2 に示したように、アンコールワットでの PM2.5 比率が高いことに対応している。炭素の発生源は今回明らかではないが、薪の燃焼やディーゼルエンジンなどが主な発生源と考えられる。Fig.3 は、市街地、アンコールワットとカンボジア、タイおよび日本の他の都市の PAHs 濃度を比較した結果である。炭素濃度は市街地に比べはるかに低いに関わらず、アンコールワット内の PAHs 濃度は市街地とほぼ同じである。また、アンコールワット内の PAHs 濃度は 5 月の金沢の約 10 倍、東京の約 4-5 倍、バンコクの約 2 倍と非常に高い。ちなみに、プノンペンのおよそ 1/4 になる。PAHs が種々の燃焼から発生することを考えると、このような高濃度を直近の道路交通の影響のみで説明するのは困難であり、他の発生源からの寄与、例えば、PAHs を高濃度で含む微小粒子が南西の季節風によって市街地や周辺地域から輸送されている可能性についても考える必要がある。市街地で炭素濃度が高い一方で PAHs 濃度が同程度となる原因については、異なる地点の濃度や、各種発生源のソースプロファイル、炭素濃度の粒子径依存等、より多くの詳細なデータに基づいて結論づけるべきだが、PAHs 発生源とは異なる発生源の存在の可能性も考えられる。

4. まとめ

- ・ 道路粉塵の影響で TSP 濃度が市街地において非常に高いが、4 環以上の PAH 濃度は市街地とアンコールワットではほとんど同じである。
- ・ アンコールワット周辺の PAH 濃度は、バンコクより 2 倍、東京の約 4-5 倍以上であった。アンコールワット付近の NO₂ および CO 濃度は、市街地エリアと類似しており、道路交通の影響が市街地と同程度にあることが推察される。
- ・ 市街地で観測される炭素の相当部分が道路交通以外の燃料燃焼からきている可能性がある。

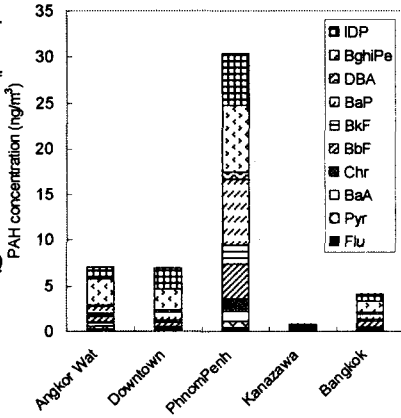


Fig.3 各国都市間の PAHs 濃度比較