

# アンコール遺跡区域の観光需要変化が大気環境へ与える影響の考察

金沢大学大学院自然科学研究科	三宅 正彦
金沢大学理工研究域	(正) 古内 正美
金沢大学環日本海域環境研究センター	塚脇 真二
アンコール遺跡整備機構	Peou Hang
カンボジア・鉱工業エネルギー省	Sotham Sieng
金沢大学理工研究域	畑 光彦
金沢工業大学基礎教育部	吉川 文恵
金沢大学大学院自然科学研究科	正井 晶
金沢大学工学部	金児 将宏

## 1. 研究背景

カンボジアでは、1993年の内戦終了後から市場経済が急拡大し、それに伴う都市部への人口集中が急速に進んでいる。これは、特に首都プノンペンやアンコール遺跡観光の拠点であるシェムリアプで著しい。同遺跡への観光客数は2004年以降、毎年約30%の割合で増加し、2007年には推定150万人を超えている(MIT, 2008)。さらに、この観光需要を見越したカンボジア国内からの流入人口も急増し、遺跡保存区域も含めて2008年現在でシェムリアプの人口は約30万人と言われている。

地方都市のシェムリアプでは、無秩序な土地開発やホテル建設が行われ、滞留人口増加に伴いエネルギー消費、道路交通需要、廃棄物処理需要などが急増する一方、上下水道、電気供給、廃棄物処理システム等の社会基盤が貧弱で、無秩序な汚水・排ガスの放出、廃棄物の野焼き等のために、環境汚染が憂慮すべき事態になっている。著者らは、2005年5月以降、アンコール遺跡整備機構(APSARA)の協力を得て、遺跡区域内の複数箇所にて定期観測と年数回の大気環境調査および気象観測を継続的に行い、粒子状物質と多環芳香族化合物(PAHs)に代表される燃焼起源成分による大気汚染が深刻なことを示してきた(Furuuchi et al., 2007)。これまでの調査結果から、排ガス対策や整備が不十分な車両からの排出、不備な道路舗装状況による道路粉塵、ホテルで使用する大型発電機や家庭用薪燃料、集積廃棄物の野焼きなどが大気汚染の主な発生源と推定しているが、有効な環境対策を講ずるには、各発生源の寄与を定量的に明確にする必要があるため、大気汚染のモニタリングと合わせて調査を継続している。以下では、シェムリアプ国際空港経由の観光客数等の統計情報に基づいて大気汚染調査データを整理した結果の一部を報告する。

## 2. 調査・分析方法

### 2.1 大気汚染物質

東西に走る国道6号線と南北に流れるシェムリアプ川が交差する付近を中心として半径約3kmの範囲にシェムリアプ市街があり、その周辺にZone I~IVで区別される遺跡区域、南方にトンレサップ湖が広がる。観測は、

1)アンコールワット、2)市街中心、3)トンレサップ湖畔の山、4)幹線道路(R6)沿、5)市街地周辺部(APSARA・水部門(DWM))の5箇所にて継続されている。

粒子状物質の観測には、総浮遊粒子(TSP)用の携帯型ハイボリュームエアサンプラ(Shibata HV500F)とTSP/PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>1</sub>分級捕集サンプラを使用し、NO<sub>2</sub>等の無機ガス測定にはパッシブサンプラ、有機ガス測定には吸着管(Tenax TA)、粒子径別質量濃度の連続測定には、粒子質量モニタ(MetOne GT-331, 531)を用いている。

定期観測は昼間のみ実施し、TSP濃度と粒子中のPAHs濃度の昼夜差(Murase et al., 2006)を考慮し、渡航調査時の市街中心での粒子状物質捕集は、6~18時、18~6時の12時間連続、Tenaxによるガス捕集は適宜実施している。粒子中のPAHs16成分(Nap, Ace, Fle, Phe, Ant, Flu, Pyr, BaA, Chr, BbF, BeP, BkF, BaP, DBA, BghiPe, IDP)を既報(Furuuchi et al., 2007)に従い分析した。また、ガス状有機化合物はGC-MSで分析した。

### 2.2 気象データ

農村工学研究所がトンレサップ湖北部に設置した気象観測装置の既存データに加えて、著者らが2006年6月にアンコールワット南部のAPSARA種苗園内に設置した気象観測装置の測定データを利用している。

### 2.3 温熱環境測定

温熱環境と大気汚染の関係を議論するため、乗用車のルーフに温湿度測定装置を取り付けて定めたルートに沿って走行し、遺跡区域内の温湿度分布を測定している。

### 2.4 汚染物質発生源

主要発生源と推定される、道路交通、ディーゼル発電機、家庭用燃料(薪)、廃棄物野焼きに関して、幹線道路の交通量調査、市内ホテルのディーゼル発電機の設置および運用状況に関する聞き取り調査、発電機排気と木質バイオマス燃焼煙中の汚染物質の基礎データの収集、廃棄物集積場周辺の汚染状況の調査を実施している。

## 3. 結果と考察

Fig. 1に、Angkor Wat, 国道6号線道路端(R6), 市街地周辺部(DWF)で観測されたTSP濃度(2005年以降各月平均)を示す。現在までの平均TSP濃度は、それぞれ、

82.3±59, 319±119, 286±185  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、いずれも粒子汚染が極めて深刻である。雨季(5~10月)は、降雨によるレインアウトと土壌粒子の飛散抑制で総粒子濃度は減少傾向にあり、特に未舗装路近傍にある DWF で顕著である。Fig. 2 は、2007年9月~2008年9月までに市街中心で採取した粒子径別質量濃度の昼・夜・24時間平均濃度を示す。昼夜を問わず高濃度の状態が持続することがわかる。PM<sub>2.5</sub> 超の粒子は道路交通によるものと考えられる。また、粒子濃度の経時変化と道路交通量との相関性が得られること、夜間でも交通量が多く高濃度の状態が維持されることなどからも、この地域特有の観光交通が大気汚染と密接な関係にあることが示唆される。また、発生源特性と気象条件に影響されると考えられる昼夜の粒子濃度比は、Fig.2 中ではほぼ同じだが季節によって差異が認められる。ただし、PAHs 濃度は市街中心平均値で昼間 7.4±0.8 ng/m<sup>3</sup>, 夜間 21.4±7.4 ng/m<sup>3</sup> (Nap を除く 15 成分) であり、昼夜に明瞭な差が認められる。よって汚染物質濃度は気象条件や交通需要の影響を強く受けると推定できる。

2006~2008年の各年の月平均 TSP 濃度と、シムリアプ国際空港経由で入国する月別平均観光客数の関係を Fig.3 に示す。いずれの場所でも良い直線相関を示している。観光客数・粒子濃度と雨量の負の相関、観光客増に伴う移動交通、観光関連資材の輸送等による交通量増加、それによる道路粉じんの増加の影響が重複していると考えられる。Fig. 4 は、同時期の総 PAHs 濃度(4-6環成分)と観光客数の関係で、R6, DWF の2地点で比較的良好な直線相関がある。Angkor Wat においても外れている1点を除けば良い直線相関が得られる。この PAHs 濃度に関してレインアウト等の降雨影響を勘案する必要があるが、PM<sub>2.5</sub> 以下の微粒子濃度への降雨影響が粗粒子に比べて少なく、PAHs の 80~90%が PM<sub>1</sub> に含まれる(観測値)点を考慮すると、観光客数の増加に伴う PAHs 濃度の上昇は、観光需要により排出される人為汚染物質によるものと推察される。

#### 4. 結論

アンコール遺跡区域の大気汚染物質の継続的観測から、粒子汚染と燃焼起源成分による汚染が顕著であり、TSP 濃度、PAHs 濃度と観光客数に相関があることが示された。遺跡周辺の大気環境は観光活動に関わる汚染物質排出の影響を強く受けていることが推察される。

謝辞: 本研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究(B))(課題番号 19404003) および平成 20 年度金沢大学学長戦略経費で行われた。記して謝意を表す。

#### References

Furuuchi, M. et al., Characteristics of Ambient, Particle-bound Poly-cyclic Aromatic Hydrocarbons in the Angkor Monument Area of Cambodia, *AAQR*, 7,2, pp.221-238, 2007  
Ministry of Tourism, Cambodia, Annual report 2008, <http://www.mot.gov.kh/default.php>

Murase, T. et al., Present Status and Characteristics of Air Pollution in Phnom Penh, Cambodia, *J. Aerosol Res.*, 21, pp.101-107, 2006

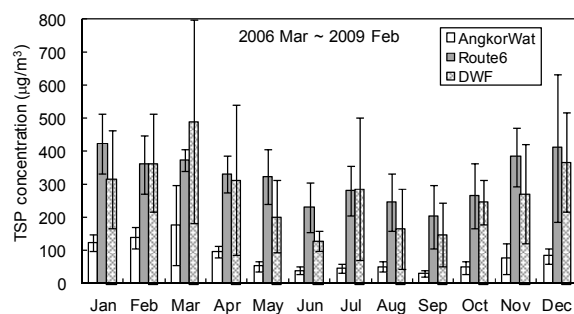


Fig. 1 Monthly change of TSP concentration in Siem Reap

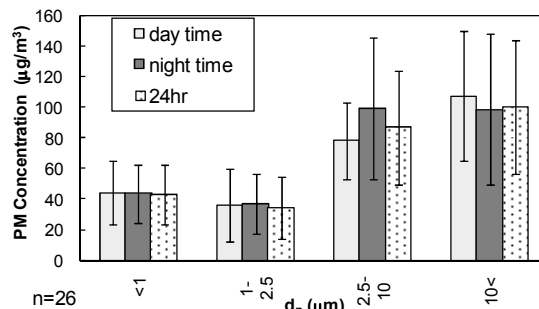


Fig. 2 PM concentration of different size ranges of particles in Siem Reap city area

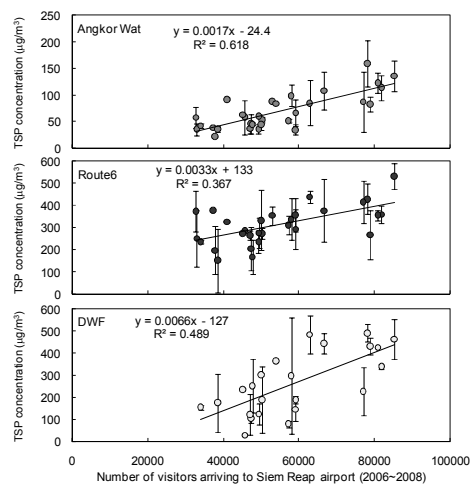


Fig. 3 Relation between TSP concentration and number of visitors to Cambodia via Siem Reap Airport.

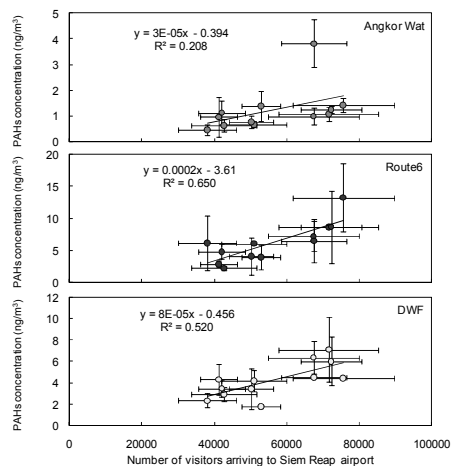


Fig. 4 Relation between PAHs concentration and number of visitors to Cambodia via Siem Reap Airport.