

道路堆積物の重金属汚染に関する研究：アンコール遺跡由来の鉛の拡散

齋藤 有（自然科学コース）

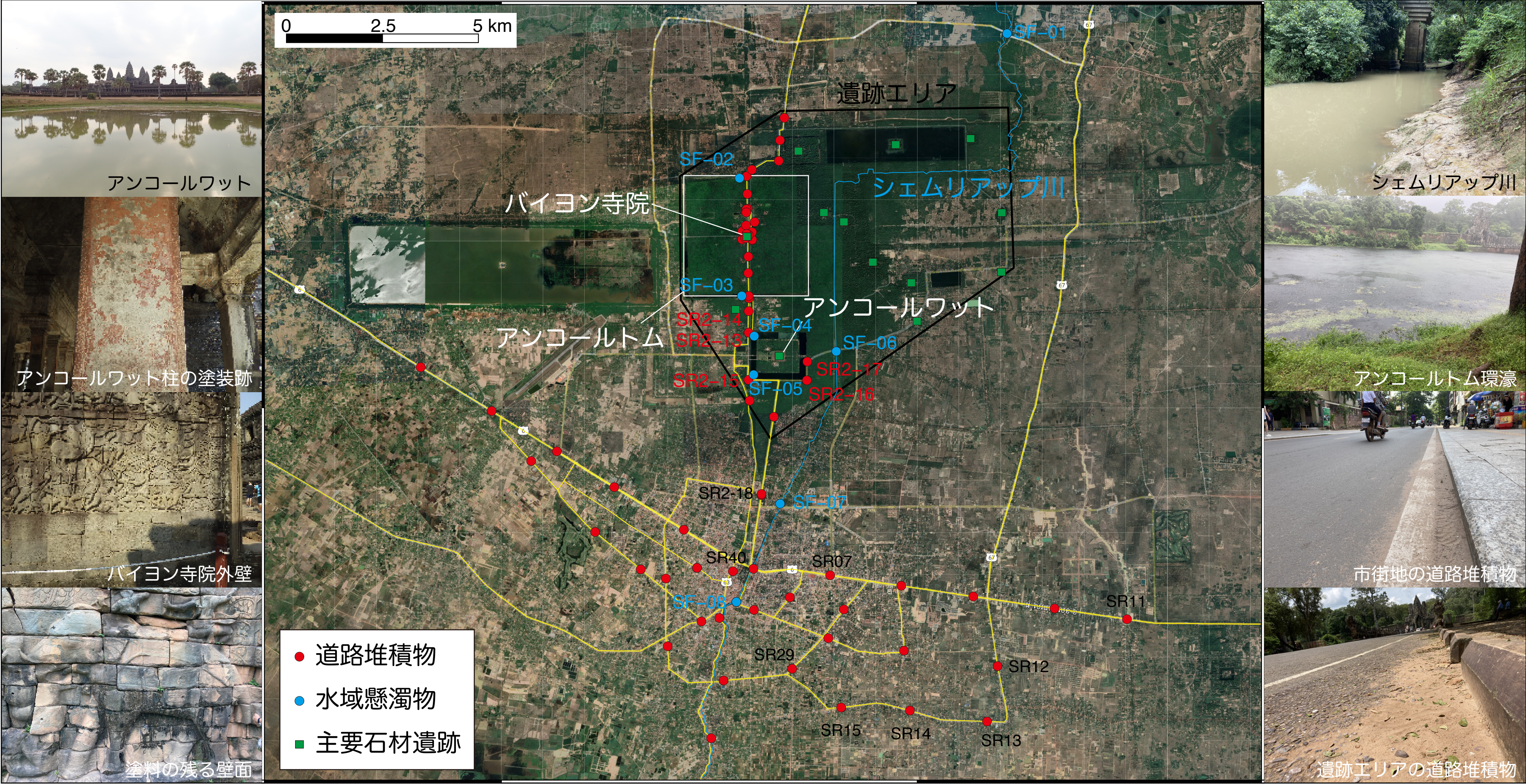
概要

鉛（Pb）は有害元素として知られているが、古代には顔料や装飾用途など多様に利用されていた。カンボジアのアンコール遺跡群では、建造当初に大規模な塗装が施されていたことが知られているが、その大部分は現在では剥落している。本研究では人為起源元素を濃縮しやすい道路堆積物に着目し、元素濃度および鉛同位体比分析を実施した。その結果、遺跡に使われていた由来の鉛が、現代の人間活動に起因する量を上回り、周辺環境に流出・残存していることが明らかとなった。



アンコール遺跡とシェムリアップ

アンコール遺跡とは、クメール人によってカンボジア国内に建造されたクメール遺跡群のうち、9～15世紀にアンコール王朝によって建造され、カンボジアの北西に位置するシェムリアップ周辺に分布するものを指す。ヒンドゥー教・仏教寺院の石造建造物を主とする。熱帯の高温多雨環境に長年晒された結果、多くの遺跡で劣化や崩壊が進んでいる。シェムリアップは人口約30万人の都市で、アンコール遺跡群を観光資源観光のメインとなる北部の遺跡エリア(図)には12世紀の遺跡が多い。

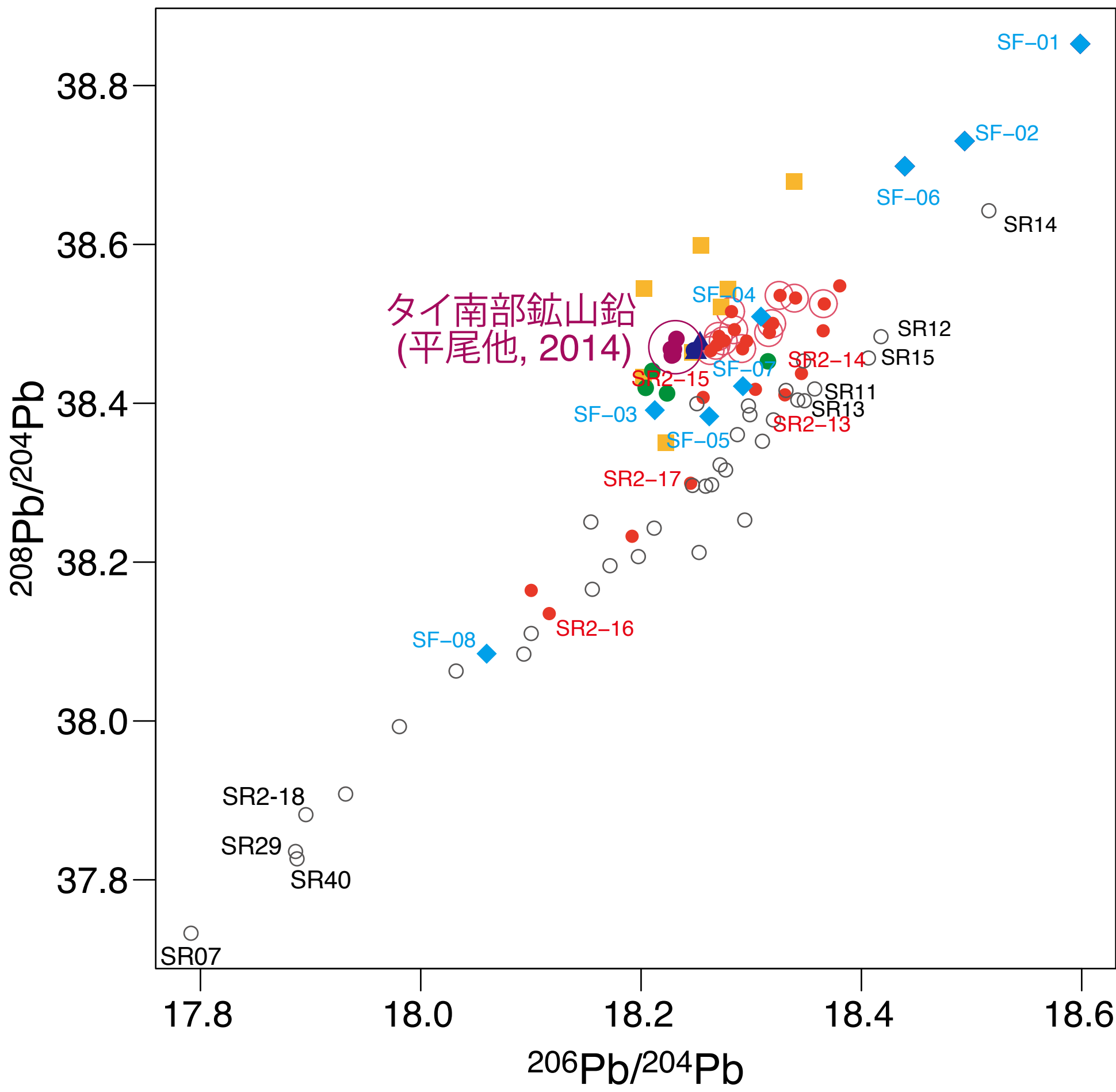
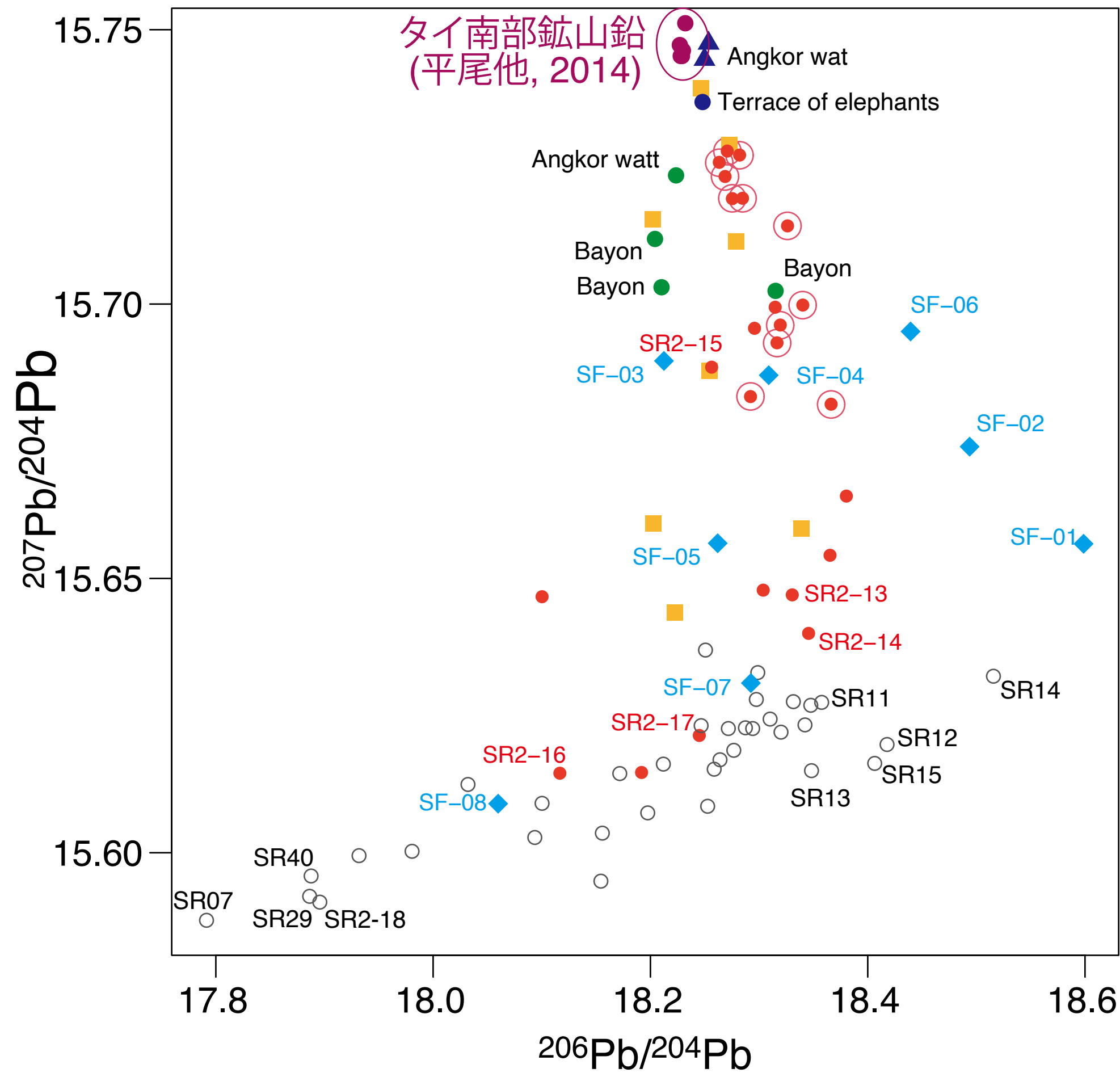


道路堆積物と重金属

道路堆積物は、道路縁に集積する砂礫を主体とする粒子状物質で、車体、燃料、潤滑油などの交通由来物質に加え、建築物や地域固有の産業活動に由来する物質を含む。このため、重金属やマイクロプラスチックの含有量は、地域における環境汚染の指標となる（Tailor, 2007など）。典型的に濃縮する重金属には、亜鉛、銅、鉛、カドミウム、クロムがある。亜鉛やカドミウムはタイヤ、車体、潤滑油、トタン屋根、銅はブレーキディスク、クロムはエンジン部品など、自動車関連の排出源を持つ。一方で鉛は、20世紀後半に有鉛ガソリンが世界的に禁止されて以降、自動車由来の主要な排出源はほとんどない。そのため、道路堆積物における鉛の濃集は、交通以外の人間活動を反映する可能性が高い。鉛は精錬や石炭燃焼で放出されるほか、一部塗料に高濃度で含まれる。さらに古代には、鉛丹や鉛白などの鉛鉱物が塗料として広く使われ、建造当初に大規模な彩色が施されたアンコール遺跡群は、鉛の潜在的排出源と考えられる。

手法

シェムリアップ市を広域的に網羅するよう60地点から道路堆積物を採取した。採取試料は60℃で乾燥させた後、篩処理を行い、金属が濃集しやすい粒径100 μm以下の画分を抽出した。この画分について、1 M HClに可溶成分の濃度および鉛同位体比を測定した。完全溶解を行わず1 M HCl可溶成分を対象としたのは、地質由来の珪酸塩鉱物の影響を抑制するためである。さらに、水域への影響を検討するため、遺跡環濠及びシェムリアップ川の河川懸濁物についても同様の測定を行った。加えて、比較のために、遺跡の残存顔料、壁面付着物、および土壌についても、1 M HCl可溶成分の濃度と鉛同位体比を測定した。



同位体比が示す鉛の起源

鉛の同位体比($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)は、鉛鉱石や起源物質の違いに応じて変化することから、鉛の給源を知る上で有用な指標となる。遺跡エリアの道路堆積物の鉛同位体比は、市街地のものと顕著に異なり、顔料や壁面付着物、遺跡土壌のプロットに寄る。特にアンコールトム内の道路堆積物は顔料とよく類似し鉛が顔料起源であることを強く示唆する。一方でアンコールワット周回道路では比較的市街地の値に近い。アンコールワットと道路との間には環濠があり、鉛の移動を妨げていることが要因として考えられる。懸濁物の値は、水域にも遺跡由来の鉛の流入があることを示す。環濠では特にアンコールトムとアンコールワットの間でその寄与が大きい。シェムリアップ川は、遺跡エリア内の地点で顔料の値への接近が確認されるが、下流ではその影響は検知できない。懸濁物が急速に沈殿することで下流への流出が抑えられている可能性がある。

- 道路堆積物(市街地)
- 道路堆積物(遺跡エリア)
- ⊙ 道路堆積物(アンコール・トム)
- ◆ 水域懸濁物
- 遺跡土壌
- 壁面付着物
- 顔料(象のテラス)
- ▲ 顔料(アンコールワット)

人為由来元素濃度の地理的分布

鉛の濃度は遺跡エリアで一様に高い。市街地では中心部で高い一方、中心から離れるほど低い。市街地中心部の鉛同位体比は $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ が全て低い端成分的な値をとり、鉛の何らかの人為発生源があることが示唆される。一方で東南部が最も低い地域になっている。この地域の同位体比はシャムリアップ川上流地点と類似しており、鉛は洪水などで広域的に拡散したものである可能性がある。道路堆積物の典型的な含有元素である亜鉛とカドミウムは遺跡エリアより市街地で顕著に高く、交通量など現代の人間活動の影響を直接反映したものと捉えられる。

