

神奈川県における PM2.5 中のタンパク質の実態把握

○石割 隼人、武田 麻由子（神奈川県環境科学センター）

微小粒子状物質（PM2.5）は未だその質量の2～3割の成分が不明のままです。PM2.5の削減をより推進するためには、発生源推定につながる不明成分の解明が重要です。最近PM2.5に生物由来と考えられるタンパク質が相当量含まれているという研究結果が報告されたことから、神奈川県内で採取されるPM2.5についても、実態把握のためタンパク質の含有量と寄与割合を明らかにしたのでその結果について報告します。

1 はじめに

微小粒子状物質（PM2.5）とは大気中に浮遊している2.5 μm以下の粒子のことで、非常に小さいため肺の奥深くまで入りやすく、呼吸器系などへの影響が心配されていることから2009年に環境基準が設定されました。PM2.5は発生源の違いなどにより様々な成分から構成され、国（環境省）のマニュアルに基づいてイオン、無機元素、炭素成分等成分ごとの分析が実施されていますが、未だ質量の2～3割の成分が不明のままです。PM2.5削減のためにはその発生源を解明し、施策を実施することが重要であることから、PM2.5の発生源推定のために不明成分の解明が急務となっています。

2 研究の目的と位置付け

近年PM2.5に生物由来と考えられるタンパク質が相当量含まれているという研究結果が報告されたことから¹⁾、実態把握のため神奈川県内で採取されるPM2.5についてもタンパク質の含有量を明らかにし、その含有量からPM2.5中のタンパク質の寄与割合を求める必要性が生じました。

そこで本研究では、タンパク質のペプチド結合を利用してタンパク質の総量を精度良く求められるmicro BCA法を用いて神奈川県内におけるPM2.5に含まれるタンパク質の定量を行い、PM2.5中のタンパク質の寄与割合を明らかにすることを目的としました。また、PM2.5中のタンパク質の地域的、季節的な変動および炭素成分との関係についても調査を行いました。

本研究の実施により、環境基準項目の一つであるPM2.5の不明成分中に見落とされている人為発生源の有無を検討するうえで重要な知見が得られると考えられます。また、本研究の成果がさらに発展し、PM2.5発生源解析シミュレーシ

ョンに新たな項目としてタンパク質を含めることが可能となれば、計算再現性が向上し、人為発生源の寄与推定精度が上がることで効果的な PM2.5 削減対策につながると考えられます。

3 研究方法

PM2.5 試料採取地点は大和市役所（以下「大和」という。）、茅ヶ崎駅前交差点（以下「茅ヶ崎」という。）および西丹沢犬越路（以下「犬越路」という。）とし（図 1）、各地点で石英繊維フィルターと PTFE フィルターを用いて試料採取を行いました。試料採取期間は 2018 年度の春季（5/9～5/22）、夏季（7/19～8/1）、秋季（10/18～10/31）、冬季（1/17～1/30）の各 14 日間とし、午前 10 時から 24 時間毎に試料採取を行いました。タンパク質の定量は石英繊維フィルターの 1/4 を超純水で超音波抽出後、遠心分離して得られた溶液を Micro BCA タンパク質アッセイキットに供することで行いました。

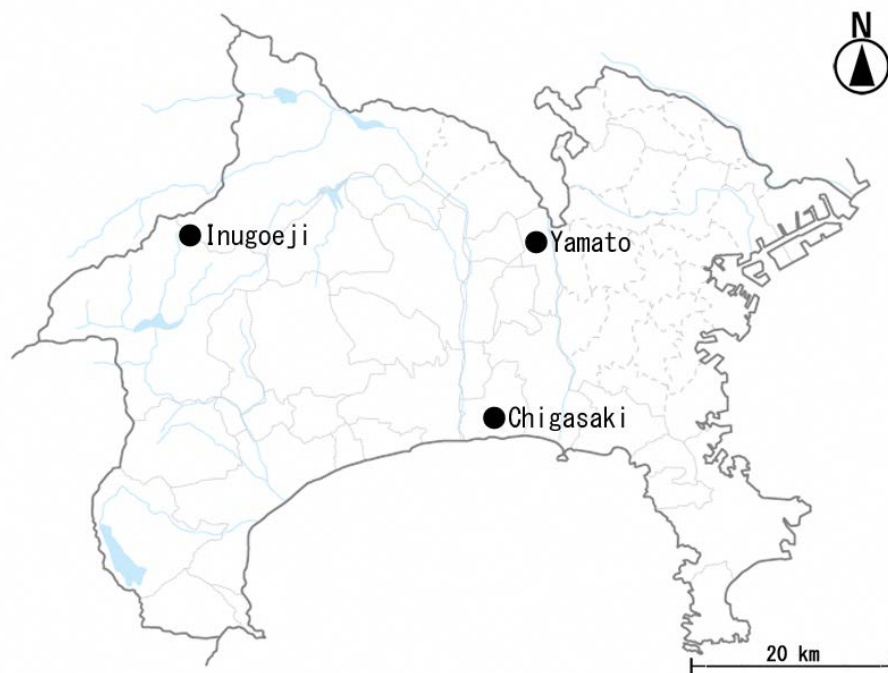


図 1 PM2.5 サンプルング地点

4 結果

各試料採取地点での PM2.5 中のタンパク質濃度を図 2 に示します。都市部である大和および茅ヶ崎においては各季同様の濃度変動を示しており、その濃度は定量下限値 ($0.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 未満～ $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲内でした。山岳部である犬越路において春季および夏季は都市部と同様の濃度変動でしたが、秋季および冬季については都市部よりも低濃度でした。各試料採取地点での PM2.5 中のタンパク質の寄与割合を図 3 に示します。都市部（大和および茅ヶ崎）においてタン

パク質の寄与割合は各季概ね 20%前後であり、最大で PM2.5 の 3 割程度を占める日もありました。山岳部（犬越路）においては春季及び夏季においては都市部と同様の寄与割合でした。なお、PM2.5 中のタンパク質濃度と質量濃度、イオン成分、金属成分、有機炭素成分（OC）、水溶性有機炭素成分（WSOC）および元素炭素成分（EC）との間で相関分析を行ったところ、年間を通して OC と WSOC との間で非常に良い相関が認められました（表 1）。また、Micro BCA タンパク質アッセイキットの検量線作成用タンパク質であるウシ血清アルブミンを用いて OC および WSOC 分析を行ったところ、定量的な応答が認められたのでその結果についても紹介します。

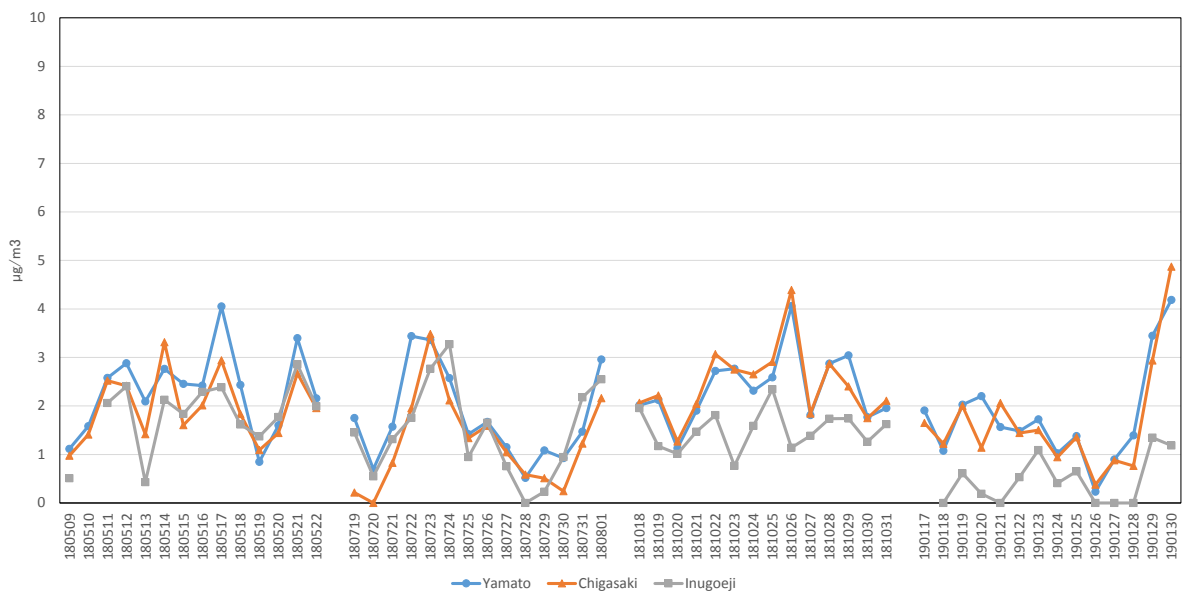


図 2 PM2.5 中のタンパク質濃度

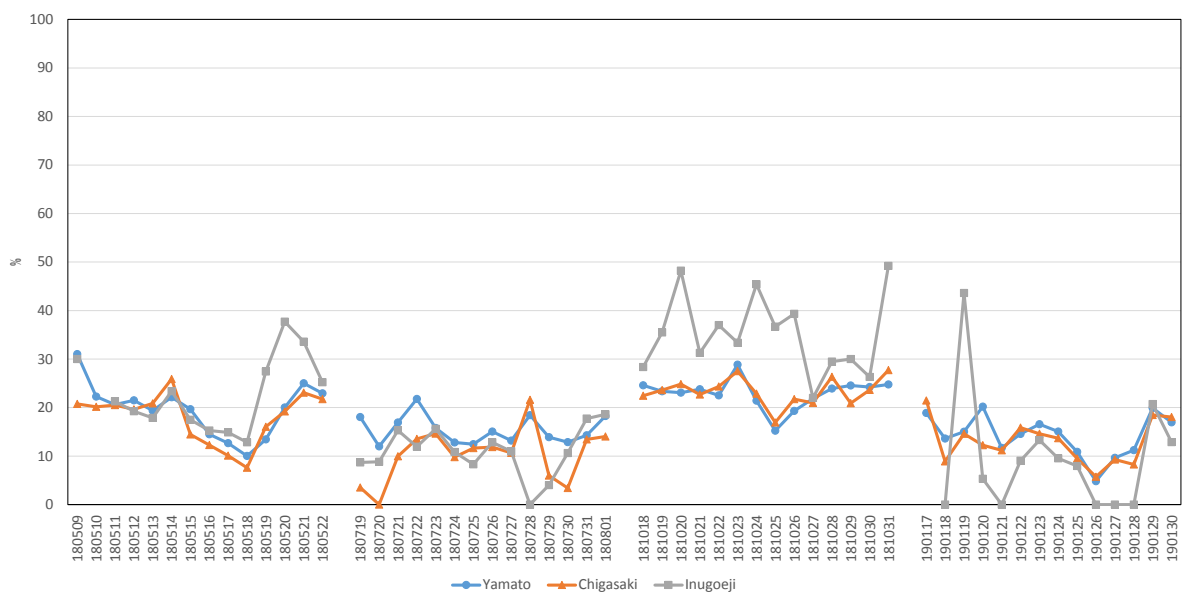


図 3 PM2.5 中のタンパク質寄与割合

表 1 タンパク質と他成分との間の相関

| 季節 | サンプリングポイント | 相関係数が ≥ 0.8 の項目 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------|----|---|----|----|----|----|--|--|--|--|--|----|----|----|--|--|--|------|----|----|
| | | 相関係数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 春 | 大和 | | | | | | | | | | | | | | | | Sb | | | | | | WSOC | OC | EC |
| | 茅ヶ崎 | | | | | | | | | | | | | | | | | Ba | | | | | WSOC | OC | |
| | 犬越路 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | WSOC | OC | EC |
| 夏 | 大和 | 0.92 | | | | | | | | | | | | | | | Cu | | | | | | | | |
| | 茅ヶ崎 | 0.93 | SO ₄ ²⁻ | NH ₄ ⁺ | | | | | | | | | | | | | Co | | Zn | | | | | | |
| | 犬越路 | 0.88 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 秋 | 大和 | 0.89 | NO ₃ ⁻ | NH ₄ ⁺ | K ⁺ | | | | | | | | | | | | Cu | | | | | | | | |
| | 茅ヶ崎 | 0.92 | NO ₃ ⁻ | NH ₄ ⁺ | K ⁺ | Al | K | Ca | Mn | Fe | Co | | | | | | | | Zn | | | | | | |
| | 犬越路 | 0.88 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 冬 | 大和 | 0.92 | SO ₄ ²⁻ | NH ₄ ⁺ | K ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 茅ヶ崎 | 0.89 | NO ₃ ⁻ | NH ₄ ⁺ | K ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 犬越路 | 0.88 | SO ₄ ²⁻ | NH ₄ ⁺ | K ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

5 おわりに

本研究の結果から、神奈川県内の PM2.5 にも一定の量のタンパク質が含まれているという新たな知見が得られました。また、秋季と冬季に都市部よりも山岳部で PM2.5 中のタンパク質濃度が低くなる傾向が認められました。PM2.5 中のタンパク質と他の成分との間で相関分析を行うと、採取場所や時期によらず有機炭素と水溶性有機炭素との間で高い相関が認められました。このことから、PM2.5 に含まれる有機炭素成分と水溶性有機炭素成分については、タンパク質が相当量占めていると示唆されました。モデルタンパク質を用いて有機炭素分析及び水溶性有機炭素分析を行ったところ、両分析においてタンパク質は定量的な応答を示しました。この結果から、PM2.5 中の有機炭素と不明成分の半分程度はタンパク質に由来すると示唆されました。これにより、PM2.5 発生源解析シミュレーションに新たな項目としてタンパク質を含めることが可能となれば、計算再現性が向上し、結果として効果的な PM2.5 削減対策につながることを期待されます。

本研究の実施により PM2.5 中に相当量のタンパク質が含まれることが明らかとなりましたが、その由来については依然不明のままです。そこで本年度から「走査型電子顕微鏡を用いた PM2.5 の実態把握」という研究課題を設定し、PM2.5 粒子を対象として走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた高倍率での観察と、エネルギー分散型 X 線分析装置 (EDX) を用いた元素分析を行い、その詳細な実態を明らかにすることとしました。当該研究課題の実施により、PM2.5 中のタンパク質の由来が明らかになるかもしれません。

参考文献

1) M. S. Khan *et al.*, *Biol. Pharm. Bull.* **41**, 115-122 (2018).