

Terra/Aqua MODIS データを用いた 越境大気汚染モニタリングシステム

永谷 泉[†] 柳澤 文孝[‡] 工藤 純一[†]

東北大学大学院情報科学研究科[†] 山形大学理学部地球環境学科[‡]

1. はじめに

近年、東アジアの経済発展に伴って、大陸から日本に飛来する越境大気汚染が問題となっている。国内外の各地に設置されている大気観測システムによる常時観測は重要ではあるが、広域に渡る越境飛来の空間情報を捉えるには、人工衛星による衛星画像が非常に役に立つ。近年ではテラ (Terra) とアクア (Aqua) 衛星が観測する MODIS データのトゥルーカラー画像がよく利用される。この画像上で、滞留する大気汚染物質は白濁色に映し出されて、素人にも判読できる。しかしながら、衛星画像上の白濁色は、それほど明確な色彩とは言えない。衛星画像をより汎用的に利用するためには、大気汚染物質を抽出し、明瞭化して、素人にも判断できる画像とする必要がある。

本研究では、アジア大陸からの越境大気汚染物質の飛来状況把握のために、MODIS データから大気汚染物質を抽出する手法を開発して、素人にも判断し易い画像を提供する越境大気汚染物質モニタリングシステムの開発を進めている。本論文では、モニタリングシステムの概要と、MODIS データからの大気汚染物質の抽出手法について紹介する。

2. 越境大気汚染モニタリングシステム

本研究で進めている越境大気汚染モニタリングシステムは、MODIS の解析画像と天気図、および地上観測データとを統合表示するシステムで、MODIS データの処理システムを持つほか、衛星画像を効率良く検索、表示するために XML データベースを利用する。XML ファイルには衛星画像の受信日時、地理座標のほか、「大気汚染物質」や「黄砂」、「森林火災」等の観測対象を示すタグを付加して、膨大な画像中からの検索効率を上げる。このタグは、画像処理によって自動的に対象物を検知して付加するが、後から

任意に修正も可能である。

3. 衛星画像解析手法

本研究において開発した手法は、Terra 衛星と Aqua 衛星による MODIS データから大気汚染物質を抽出する手法で、大気汚染物質の可視反射率による指数と水分指数を作成して、この2つの指数から大気汚染物質を抽出する。

大気汚染物質の反射率指数は、MODIS バンド 3 とバンド 1 を利用した式 1 のエアロゾル反射率強調 (Aerosol Enhancement : AE) を利用する。

$$AE = 2.0 * B3 - (B1 - C_m) \quad (1)$$

ここで、 $B1$ と $B3$ はレイリー散乱の影響を除去した MODIS バンド 1 とバンド 3 の反射率を示す。 C_m は土地被覆による AE 値の違いを抑えるための補正定数で、土地被覆毎の C_m 値を設定する。土地被覆データには、NASA が公開している MODIS 土地被覆プロダクト (MCD12C1) の IGBP 土地被覆画像を利用する。

エアロゾル反射率強調 (AE) は、筆者らが森林火災で発生する煙エアロゾルを検出するために開発した手法であるが¹⁾、滞留した大気汚染物質での大気エアロゾル反射率は、煙と似た反射率特性を示すため、この AE は大気汚染物質の検出にも利用できる。

水分指数 WI は、層の厚い雲、巻雲、地表面水蒸気量、雪氷を示す指数を合成して作成する。これらの指数には Thick Cloud Index (TCI)、Aerosol Vapor Index (AVI)²⁾、Normalized Difference Water Index (NDWI)、Normalized Difference Snow Index (NDSI) を利用する (式 2)。それぞれの指数が大気汚染物質を示すレンジ (0.0~1.0) となるように式 3 で調整変換して、最大値合成する (式 4)。

$$\begin{aligned} TCI &= -1.0 / (290 - 265) * BT32 + 11.6 \\ AVI &= BT31 - BT32 \\ NDWI &= (B2 - B5) / (B2 + B5) \\ NDSI &= (B4 - B7) / (B4 + B7) \end{aligned} \quad (2)$$

Transboundary air pollution monitoring system using Terra and Aqua MODIS data

[†]Izumi Nagatani, [‡]Fumitaka Yanagisawa, [†]Jun-ichi Kudoh

[†]Graduate School of Tohoku University

[‡]Yamagata University

$$\begin{aligned}
 wi_{TCI} &= -1.0 / (290 - 265) * BT32 + 11.6 \\
 wi_{AVI} &= -1.0 / (\exp(0.08 * BT31 - 23.2) + 1.0) * AVI \quad (3) \\
 wi_{NDWI} &= 1.8 * NDWI * Landmask \\
 wi_{NDSI} &= 1.2 * NDSI * Landmask
 \end{aligned}$$

$$WI = \max(wi_{TCI}, wi_{AVI}, wi_{NDWI}, wi_{NDSI}) \quad (4)$$

ここで、B2、B4、B5、B7 は、それぞれ MODIS のバンド 2、バンド 4、バンド 5、バンド 7 の反射率である。また、BT31、BT32 はバンド 31 とバンド 32 の観測輝度温度である。Landmask は陸域マスクで陸域では 1、海域では 0 を示す。

AE と WI の画像を作成後、この 2 画像による擬似カラー合成画像を作成する。この画像は、赤 (R) と緑 (G) のプレーンに AE を、青 (B) プレーンに WI を適用した RGB カラー合成画像で、AE 値のレンジは 0.0~0.3 を、WI 値は 0.0~1.0 を 256 色階調に調整して作成する。作成される画像上で、大気汚染物質は黄色で表される。また、雲や雪氷は白色、その他は青色に表現される。この画像から大気汚染物質の空間分布が容易に確認できる。

大気汚染物質の抽出は、2 変数 AE と WI の標準正規分布に基づいた確立分布より抽出する。設定パラメータには、AE の平均値 0.2、標準偏差 0.05、WI 平均値 0.0、標準偏差 0.2 を設定して、確立 0.05~1.0 の画素を大気汚染物質として抽出する。抽出した黄砂画素は MODIS ツールカラー画像上に重ね書き（オーバーレイ）して大気汚染物質抽出画像を作成する。その際、算出確立をオーバーレイの透過率として大気らしさを表現する。

4. 画像検索と表示試作

試作の利用データは、2011 年 1 月 21 日から 2 月 15 日までに Terra 衛星と Aqua 衛星が観測した MODIS データで、対象領域は緯度 30~50 度、経度 100~150 度の範囲とした。この対象領域に合わせて切り出しと繋ぎ合わせ処理（モザイク処理）して得られた 52 枚（26 日 x 2 衛星）の画像より、AE 画像と WI 画像を作成して、擬似カラー合成画像と大気汚染抽出画像を作成した。

システムとしては、MODIS 解析画像と天気図の検索と統合表示機能を試作した。擬似カラー合成画像により、2 月 4 日から 7 日に飛来した大気汚染物質の空間分布が確認できる（図 1）。こ

れらは、山形県内の大気観測所の観測データおよび山形県蔵王山頂より採取される樹氷の化学分析データ（図 2）と照合することで、飛来物質の化学組成が確認できる。このデータ照合機能は、本システムの重要な表示機能として、現在開発中である。

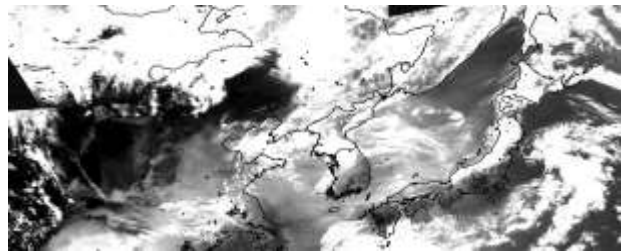


図 1. MODIS データによる越境大気汚染の観測画像
(2011 年 2 月 4 日観測)

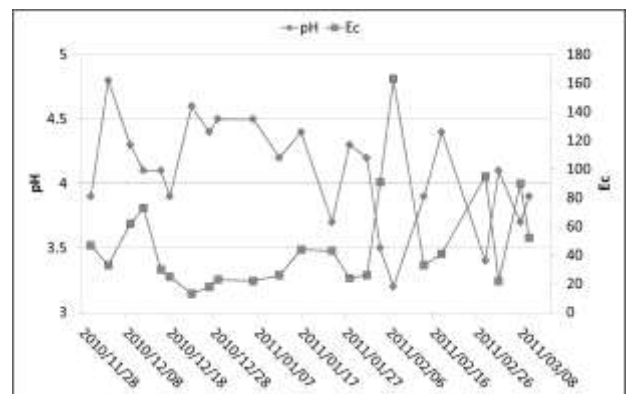


図 2. 樹氷の化学成分 (pH と電気伝導度 Ec)

謝辞

本研究の一部は、平成 23-24 年度 科学研究費挑戦的萌芽研究「森林火災管理による CO2 排出量取引のシナリオ（研究課題番号：23651032 研究代表者：工藤 純一）」によって行われた。山形県環境科学研究センターには大気環境データを提供していただいた。

参考文献

- 1) I. Nagatani and J. Kudoh, "A new technique for visualization of forest fire smoke plumes using MODIS data", Proceedings of IGARSS 2012, pp.2380-2383, Munich, July 2012.
- 2) S. A. Ackerman, et al., "Discriminating clear sky from clouds with MODIS", Journal of geophysical research, 103 (D24), pp. 32141-32157, 1998.