

Estimation of PM2.5 emission from biomass burning in West Siberia based on in-situ and satellite measurements

Mar. 2020 Numerical Modeling for Global Environment Issues 47-186632 Wenjie Mo
Supervisor Professor, Ryoichi Imasu

Keyword: PM2.5 emission estimation, biomass burning, numerical simulation

1. Introduction

Biomass burning is the burning of living and dead vegetation, such as wildfire and agricultural residues burning. It is the main source of aerosols, producing tons of aerosols into atmosphere every year. Estimation of aerosols' emission in this area is the very first and important step for further researches like aerosols transportation and radiational budget climate effect. Satellite remote sensing is regarded as a well-suited method to assessing the area of biomass burning, a prerequisite for estimating emissions at regional and global scales. This study takes West Siberia area (Fig 1) in Russia as an example where 3 in-situ observation sites are monitoring the concentration of PM2.5, a type of aerosols referring to particulate matter with a diameter of 2.5 μm or less. And then estimates the emission of PM2.5 from biomass burning using the latest Global Change Observation Mission Second generation GLOBAL Imager (GCOM-C/SGLI) data in high-resolution. Due to the data accessibility, the study period is during 2018/03-2018/10. Since there are assumed factors in the estimation, the confirmation of the assumed factors is the most important task in estimation. This study focusses on the confirmation of an assumed factor called burning efficiency which is reported has 50% uncertainty of range (van der Werf et al., 2010). Burning efficiency is confirmed by comparing estimations between different methods and comparing simulated PM2.5 concentration with in-situ observation.

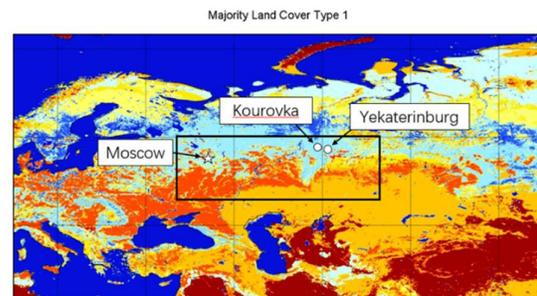


Fig 1. Study area (marked with black lines).

50N-60N, 35E-70E

Moscow, Kourovka, Yekaterinburg sites are listed.

2. Methodology

This study demonstrates 3 method to estimate PM2.5 emission as following:

① Above ground biomass (AGB)-method: AGB-method use latest GCOM-C/SGLI Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) product and AGB data following the equation below:

$$E_{FIRE} [tons] = A [ha] \times M_B [tons ha^{-1}] \times BE_f \times EF [g/kg] \times 10^{-3}$$

Where E_{FIRE} is the amount of aerosols emissions from fire (tons); A is the burnt area (ha) which is computed by using MODIS location information and the decreasing rate of NDVI.; M_B is the mass of fuel available for combustion (tons ha^{-1}) for which AGB is adopted. BE_f is the burning efficiency, usually defined as the fraction of biomass consumed by the fire, which is assumed and to be confirmed. EF is the emission factor (g of aerosols/kg of dry matter burned), for which emission factors from Akagi (2011) are used.

②Fire Radiative Power (FRP)-method: The FRP-method is based on the fact that FRP during combustion can serve as a proxy for the rate of gas and aerosols emissions released (Kaufman et al., 1998) as following.

$$E[g] = FRP[MW] \times burning\ time[s] \times EC[g/MJ]$$

FRP data from MODIS satellite is used, a 2-hour burning time is assumed in the method, and a 3.97g/MJ emission coefficient for PM2.5 is used which is from Eric Vermote et al. (2009).

③GFEDv4: Global Fire Emission Database Version 4 (GFEDv4) emission inventory in 2018(beta) is used. The GFEDv4 provides a global total burned dry mass data monthly, a fraction of each day, and contribution ratios of 6 different biomass types (agricultural waste; boreal forest; tropical forest; peatland; savanna, grassland, and shrubland; temperate forest). By combining with PM2.5 emission factor for each biomass types, emission of PM2.5 is computed following the equation below:

$$E[g] = \sum_{type} DM[kg \cdot m^{-2} \cdot month^{-1}] \times A[m^2] \times DF \times contrib_{type} \times EF_{type}[g/kg]$$

Where E is the total mass of PM2.5 emitted and DM is mass density of burned biomass, A is the area of each grid, DF is the daily fraction, contrib_{type} is the contribution of each biomass type, EF_{type} is the emission factor for each biomass.

3. Result and Discussion

The burning efficiency in AGB-method is assumed as 0.3, 0.5, 0.7, and is confirmed by comparing with FRP-method and GFEDv4. AGB-method: The total mass of PM2.5 emitted during 2018/03~2018/10 from the study area is estimated at 1.081x10⁸ kg, 1.803x10⁸ kg, 2.524x10⁸ kg for assumed burning efficiency 0.3, 0.5, 0.7 respectively. FRP-method: The total mass of PM2.5 emitted is estimated at 0.874x10⁸kg. GFEDv4: GFEDv4 estimates the total mass of PM2.5 emitted at 1.358x10⁸ kg. The monthly variation of estimated PM2.5 emission mass is shown in Fig.2. Considering both FRP-method and GFEDv4, AGB-method with 0.3 burning efficiency (AGB-0.3) is of best performance comparing to FRP-method and GFEDv4, which has RMSE of 5.102 and 13.46.

Furtherly, the burning efficiency is confirmed by comparing the PM2.5 concentration observed with the concentration simulated by Weather Research and Forecasting model coupled with Chemistry (WRF-Chem). From the result, WRF-Chem simulated PM2.5 concentration is significantly lower than in-situ observation. Simulated PM2.5 concentration in Yekaterinburg matches the in-situ observation in 2018/05 as a biomass burning event happened in the south of Yekaterinburg. By comparing only 2018/05, AGB-0.5 is of best performance which has RMSE of 9.547. As PM2.5 recorded by in-situ observation could contain PM2.5 from sources other than biomass burning, to conduct more accurate simulation, a more updated anthropogenic emission database may be needed in the future. Reference: van der Werf et al., 2010; Kaufman et al., 1998; Eric Vermote et al., 2009; Akagi, 2011.

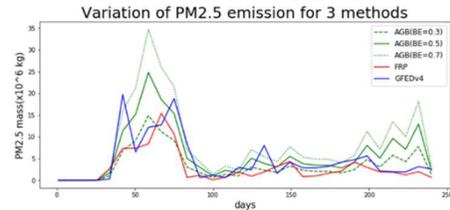


Fig 2. Variation of total PM2.5 mass emitted from study area for 3 methods. x label: days, y label: PM2.5 mass

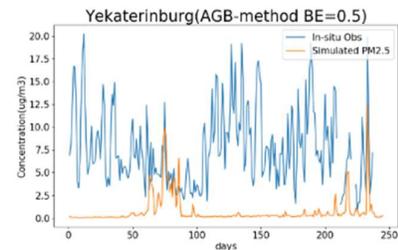


Fig 3. Simulated vs In-situ PM2.5 concentration x label: days y label: concentration

現場観測と衛星観測に基づいた西シベリアにおけるバイオマスバーニングからのPM2.5発生量の推定

2020年3月 地球環境モデリング学分野 47-186632 莫文杰

指導教員 教授 今須良一

キーワード：PM2.5発生量推定、バイオマスバーニング、数値シミュレーション

1. 背景

バイオマスバーニングとは森林火災や農業残渣の燃焼などの植物燃焼であり、毎年大量のエアロゾルがそれにより発生し、大気に排出している。その発生量の推定はエアロゾル輸送や放射収支による気候変動効果評価の研究にとって最初で非常に重要なステップである。様々な推定手法が存在するが、その中で衛星リモートセンシングはバイオマスバーニングの発生位置を把握するのに適した方法と見なされているため、本研究は衛星観測データを用いて推定し、現場観測データを用いて検証する手法で進められている。本研究の研究地域は西シベリア (Fig. 1)、期間は2018/03~2018/10、対象はエアロゾルの一種であるPM2.5 (大気中に浮遊している $2.5\mu\text{m}$ 以下の小さな粒子のこと) としている。Global Change Observation Mission Second generation GLOBal Imager (GCOM-C/SGLI)が提供した衛星観測データで推定を行うが、推定手法に仮定した係数があるため、その係数の検証は推定において最も重要なタスクである。仮定した係数の一つである燃焼割合 (burning efficiency) は地上バイオマス量に燃焼した分が占める割合と定義されており、先行研究 (van der Werf et al., 2010) で50%不確実性があると報告されたため、本研究はその検証を中心的に行う。

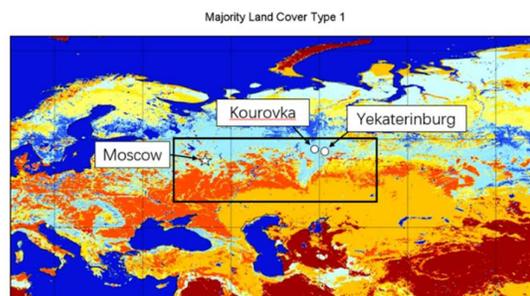


Fig.1 研究地域と Moscow, Kourovka, Yekaterinburg 現場観測サイト

2. 手法

本研究は3つの手法でPM2.5発生量を推定した。

①AGB法：AGB法は下記の式に従って、GCOM-C/SGLI衛星観測の正規化差植生指数 (NDVI) の減少率とMODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 火災位置情報で計算した燃焼面積比 (A) にバイオマス乾燥重量 (Above Ground Biomass、 M_B) と仮定した燃焼割合 (BE)、Emission Factor とを掛け合わせ、PM2.5発生量 (E_{FIRE}) を求める。

$$E_{\text{FIRE}}[\text{tons}] = A[\text{ha}] \times M_B[\text{tons ha}^{-1}] \times BE_f \times EF[\text{g/kg}] \times 10^{-3}$$

②FRP法：FRP法は下記の式 (Kaufman et al., 1998) に従って、MODIS観測された赤外線情報から火災強度FRPを推定し、Eric Vermote et al. (2009) で求められた火災エネルギーと放出されるPM2.5の関係を表す係数 3.97g/MJ (EC) を掛け合わせ、燃焼時間を2時間と仮定し、PM2.5発生量を求める。

$$E[g] = FRP[MW] \times \text{burning time}[s] \times EC[g/MJ]$$

③GFEDv4: Global Fire Emission Database Version 4 (GFEDv4)は van der Werf et al., 2017 により作成された毎日バイオマスの燃焼量及び各温室効果ガスまたはエアロゾル放出量のデータベースである。月の合計バイオマスの燃焼量(DM)に対し、毎日の比率(daily fraction, DF)を掛け合わせることで毎日の燃焼量が求められる。6種類バイオマス(農業廃棄物; 北方林; 熱帯林; 泥炭地; サバンナ、草原、灌木地; 温帯林)の寄与率と Emission Factor も格納されている。下記の式で毎日のバイオマス燃焼量に燃焼面積(A)、各種類バイオマスの寄与率(contrib_{type})とその Emission Factor(EF)掛け合わせ、PM2.5 発生量(E)を求める。本研究で GFEDv4 の 2018(beta)のデータを用いている。

$$E[g] = \sum_{type} DM[kg \cdot m^{-2} \cdot month^{-1}] \times A[m^2] \times DF \times contrib_{type} \times EF_{type}[g/kg]$$

3. 結果

AGB法で仮定した燃焼割合を検証するには二つの方法があり、一つ目は異なる手法で求める発生量との比較することで、二つ目は現場観測装置(Moscow, Kourouka, Yekaterinburg 現場観測サイト、Fig. 1)が観測したPM2.5濃度との比較することである。まず AGB法の燃焼割合は0.3、0.5、0.7と仮定しており、FRP法及びGFEDv4を使用して推定されるPM2.5発生量と比較することで燃焼割合を検証する。AGB法では0.3、0.5、0.7の燃焼割合で、全期間の合計PM2.5発生量をそれぞれ1.081 x 10⁸kg、1.803 x 10⁸kg、2.524 x 10⁸kgで推定した。FRP法及びGFEDv4ではそれぞれ0.874 x 10⁸kg、1.358 x 10⁸kgで推定した。FRP法及びGFEDv4を基準として比較し統計係数R²で評価すると、0.5燃焼割合のAGB法(AGB-0.5)がFRP法にR²=0.345、GFEDv4にR²=0.435、0.3と0.7より優れたとわかった。

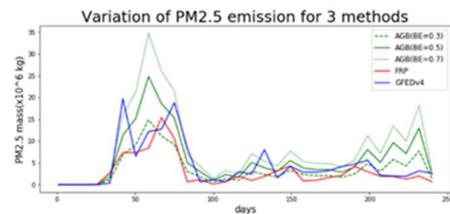


Fig. 2 三つの手法により算出したPM2.5発生量の推移

さらに、PM2.5発生量ファイルをインプットとして物質輸送モデル Weather Research and Forecasting model coupled with Chemistry (WRF-Chem)により計算したPM2.5の濃度を現場観測と比較した。2018/03からMoscowのデータがないため、YekaterinburgとKouroukaのみ比較した。結果としては、2018/05を除き全期間にモデル計算結果が過小評価となっている。5月に結果があうのはYekaterinburg南部近くにバイオマスバーニングがあるからだと考えられる。5月のデータのみ比較し、統計係数R²とRMSEで評価すると、AGB-0.5が最もPM2.5濃度を再現できたことがわかった。過小評価の原因としては、現場観測の濃度にバイオマスバーニング起源でないPM2.5も含まれていると考え、今後リアルタイムの人工的な排出源を加味して実験する必要があるとする。参考文献: van der Werf et al., 2010; Kaufman et al., 1998; Eric Vermote et al., 2009; Akagi, 2011.

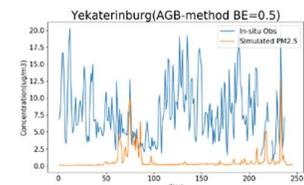


Fig. 3 モデル計算結果と観測データ