

図 4. 2017 年度の統計的流跡線の解析結果.  
(a)CWT. (b)SQTBA. (c)ens-SQTBA.

### 3. 統計的流跡線の手法の結果とその比較

図 4 に 2017 年度、図 5 に 2022 年度の各種統計的流跡線の結果を示す。CWT 解析の結果（図 4(a)および図 5(a)）は既報<sup>2)</sup>と同様、沖縄島よりも北の広い範囲に発生源があるように見える。ただし既報<sup>2)</sup>では 10 年分のデータを用いていたが、今回は 1 年分の解析のため、計算領域の端の部分に CWT の計算ができない領域が存在している。これに対し、SQTBA（図 4(b)および図 5(b)）では周囲の値の平滑化により、隣り合った値のばらつきがなくなり滑らかな分布となっている。そのほか、CWT の計算ができない領域の値が補間される効果もあった。一方 ens-SQTBA（図 4(c)および図 5(c)）では平滑化の効果はあるものの、ある程度のばらつきは残されている。これが平

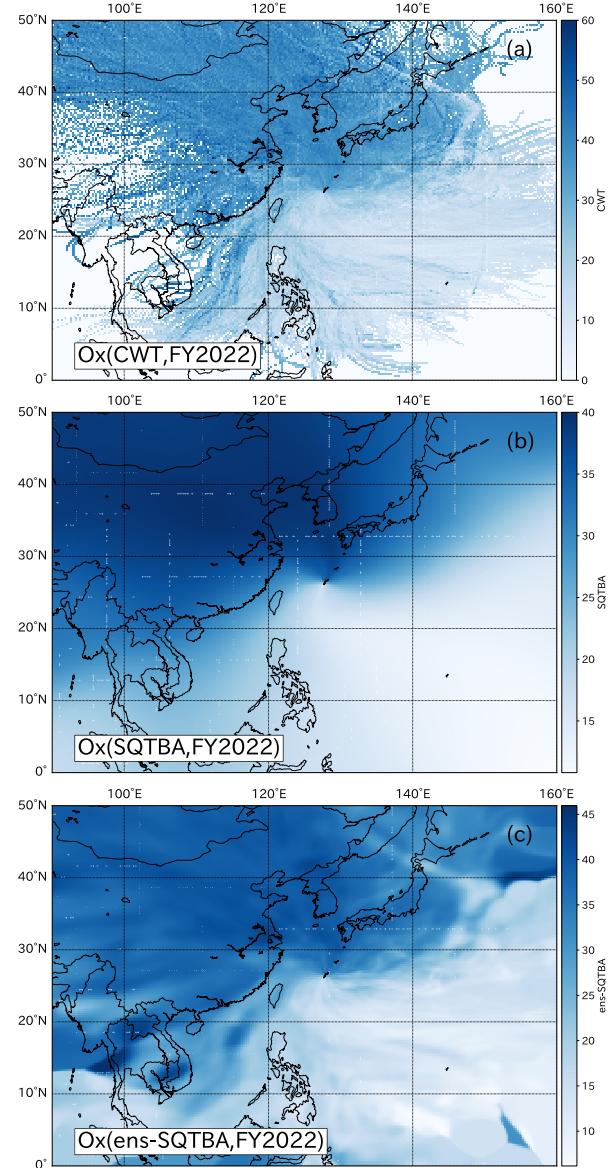


図 5. 2022 年度の統計的流跡線の解析結果.  
(a)CWT. (b)SQTBA. (c)ens-SQTBA.

滑化の効果が不十分とみるか、意味のある Ox 濃度分布であるかは、これらの地域での Ox の発生源となりうるものがあるかの情報が必要である。ただし、今回の報告では手法の実装・開発が主目的であることからここではこれ以上の追及は行わない。また、ens-SQTBA においても CWT 計算のできない領域やエンドポイント頻度が少ない領域の補間は難しく、周りと比較して高い値が算出されるなど、この領域の値の妥当性には疑問が残る。この点を解決する手法として ens-SQTBA を用いることは妥当ではなく、SQTBA が有用であると思われる。

### 4. 重みづけの適用の結果

既報<sup>2)</sup>と同様に解析した統計的流跡線に重みづけを適

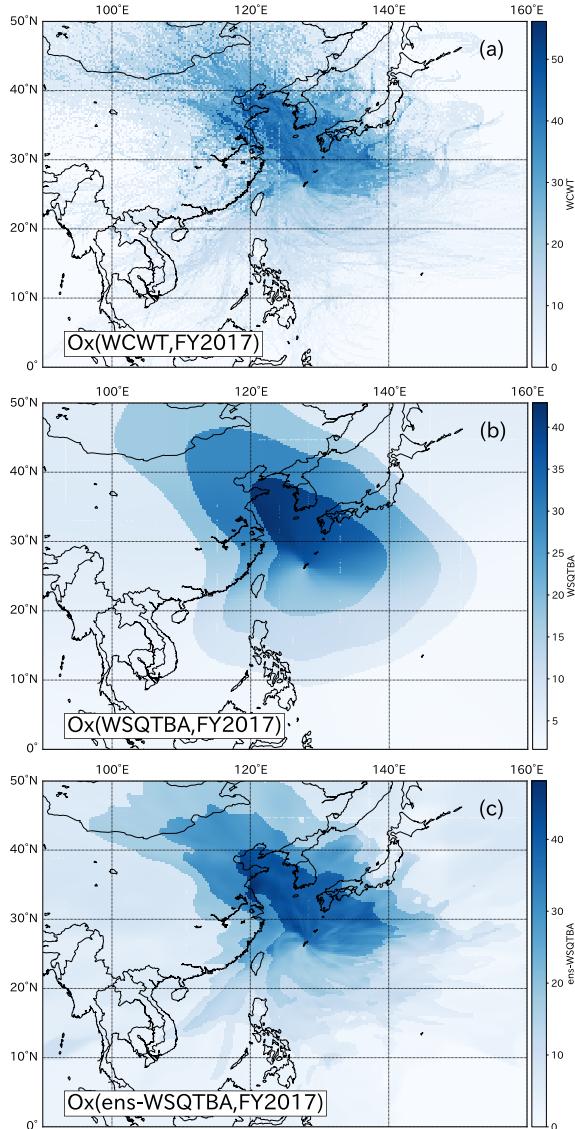


図 6. 2017 年度の重みづけ統計的流跡線の解析結果.  
(a)WCWT. (b)WSQTBA. (c)ens-WSQTBA.

用した。重みづけの方法については既報<sup>2)</sup>と同様に Polissirら<sup>9)</sup>や工藤ら<sup>10)</sup>の用いた係数によりエンドポイント数または物質移動ポテンシャルの値に応じて補正(Weighted)を行った。その結果について、2017年度を図6に、2022年度を図7に示す。WCWT(図6(a))および図7(a)とens-WSQTBA(図6(c))および図7(c)はエンドポイントの分布と物質移動ポテンシャル場が似通っていることから、細かい違いはあるものの、ほぼ同じような結果が得られている。重みづけをしたことにより、エンドポイント頻度や物質移動ポテンシャル場が小さく信頼性が低いと思われる値についてはその影響が低減されている。WSQTBA(図6(b))および図7(b))ではSQTBAで分布が滑らかになったことに加え、物質移動ポテンシャル場の分布も滑らかであることから、同心円状に近づ

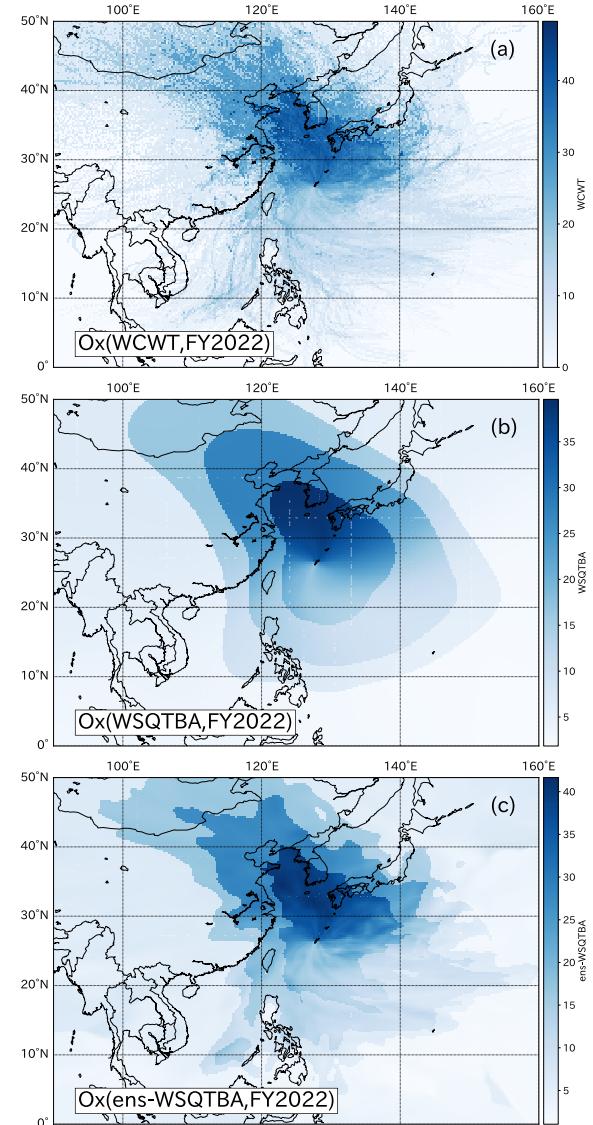


図 7. 2022 年度の重みづけ統計的流跡線の解析結果.  
(a)WCWT. (b)WSQTBA. (c)ens-WSQTBA.

いた分布となっている。

#### IV まとめ

統計的流跡線解析の手法であるSQTBAについて、プログラミング言語Python上で解析を可能とした。また、アンサンブル解析の結果を利用することで不確実性を考慮する共分散行列を定数利用の単調増加ではなく、エンドポイント毎に共分散行列の算出を可能とした。SQTBAはCWTに比べ、正規分布を用いた平滑化の効果により滑らかな分布が得られた。アンサンブルの手法を利用したens-SQTBAではSQTBAに比べ共分散行列の値が小さいことから平滑化の効果が小さく、CWTの特徴をある程度残したような結果が得られた。これらの解析は不確実性を考慮した解析であり、汚染源の推定の考察

を深めるための有用な手法であると思われる。また、Python 上でこれらを行うことは今回取り組んだ ens-SQTBA のように手法の変更・改良が可能であることも利点であると思われる。

## V 参考文献

- 1) 大気環境学会編 (2019) 大気環境の事典. 朝倉書店, pp.112–113.
- 2) 田崎盛也 (2023) Python を用いた統計的流跡線解析. 沖縄県衛生環境研究所報, 57 : 35–38.
- 3) Zhou, L., Hopke, P. K., Liu, W. (2004) Comparison of two trajectorybased models for locating particle sources for two rural New York sites, *Atmos. Environ.*, 38, 1955–1963.
- 4) Zhao, W., Hopke, P.K., Zhou, L. (2007) Spatial distribution of source locations for particulate nitrate and sulfate in the upper-midwestern United States, *Atmos. Environ.*, 41, 1831–1847.
- 5) Han, Y.-J., Holsen, T.M., Hopke, P.K. (2007) Estimation of source locations of total gaseous mercury measured in New York State using trajectory-based models, *Atmos. Environ.*, 41, 6033–6047.
- 6) Zhou, C., Zhou, H., Hopke, P.K., Holsen, T.M. (2024) Overview of the trajectory-ensemble potential source apportionment web (TraPSA-Web) toolkit for atmospheric pollutant source identification, *Atmosphere*, 15, 176.
- 7) 田崎盛也 (2024) Python を用いたアンサンブル流跡線解析. 沖縄県衛生環境研究所報, 58 : 41–47.
- 8) 田崎盛也 (2022) Python による流跡線解析. 沖縄県衛生環境研究所報, 56 : 78–101.
- 9) Polissar, A. V., Hopke, P. K., Harris, J. M (2001) Source regions for atmospheric aerosol measured at Barrow, Alaska, *Environ. Sci. Technol.*, 35, 4214–4226.
- 10) 工藤慎治・飯島明宏 (2017) クラスター分析およびCWT 解析を用いた東京の PM<sub>2.5</sub> 質量濃度の増加に影響を及ぼす地域の推定. 大気環境学会誌, 52 : 89–99.

## VI 付録

本報告に関するコードについて、沖縄県衛生環境研究所ホームページ (<https://www.pref.okinawa.jp/site/hoken/eiken/kankyo/taiki.html>) にて掲載する。