

奈良県葛城市における

大気汚染による文化財影響調査報告書

2023 年度



(黄金色に輝く當麻の里・2023 年秋)

2024 年 3 月

奈良大学文学部文化財学科保存科学研究室

奈良県葛城市における 大気汚染による文化財影響調査報告書 2023年度

1 調査の経緯

2004年に當麻町と新庄町が合併して葛城市が発足した。葛城市では廃棄物の焼却を両町合併後も當麻クリーンセンターと新庄クリーンセンターで行ってきたが、2施設を統合して処理を行う新クリーンセンター建設を當麻クリーンセンター所在地に計画した。新クリーンセンター予定地の北側には麻呂子山の尾根を一つ隔てて當麻寺があり、東塔、西塔、鐘楼などの国宝、中之坊庭園の名勝など国指定の文化財が所在する。

新クリーンセンターの廃棄物焼却に伴い発生する酸性大気汚染物質がこれら文化財に影響を与えることが懸念されるところであった。

奈良大学文学部文化財学科保存科学研究室(代表 西山要一)は葛城市の依頼を受けて、當麻クリーンセンターの稼働中(2011年4月～9月)、同センターの稼働停止・廃炉・新クリーンセンター建設中(2011年9月～2017年3月)、および新クリーンセンター(以下クリーンセンターと記す)の稼働開始後(2017年4月以降)の期間の大気汚染の文化財への影響、とりわけ、麻呂子山の尾根を隔てて北側に所在する當麻寺の国宝建造物など文化財への影響について調査を行うことになった。

本書は、調査開始から13年目(2023年度)、クリーンセンター稼働開始後7年目の大気汚染測定の結果を報告するものである。

2 大気汚染測定地点

大気汚染の測定地点は、當麻寺西塔(西塔南側・位置図の①)、當麻寺竹之坊(②)、クリーンセンター(2011年4月から2017年3月までは當麻クリーンセンターの敷地西側、2017年4月からはクリーンセンターの敷地東側③)、葛城市當麻庁舎(庁舎北側④)―當麻庁舎解体工事のため2022年7月に當麻スポーツセンターに移設(④')、博西神社(本殿北西側⑤)の5か所に設定した(図1 葛城市大気環境測定位置図、図2 葛城市大気環境測定シェルター設置状況)。

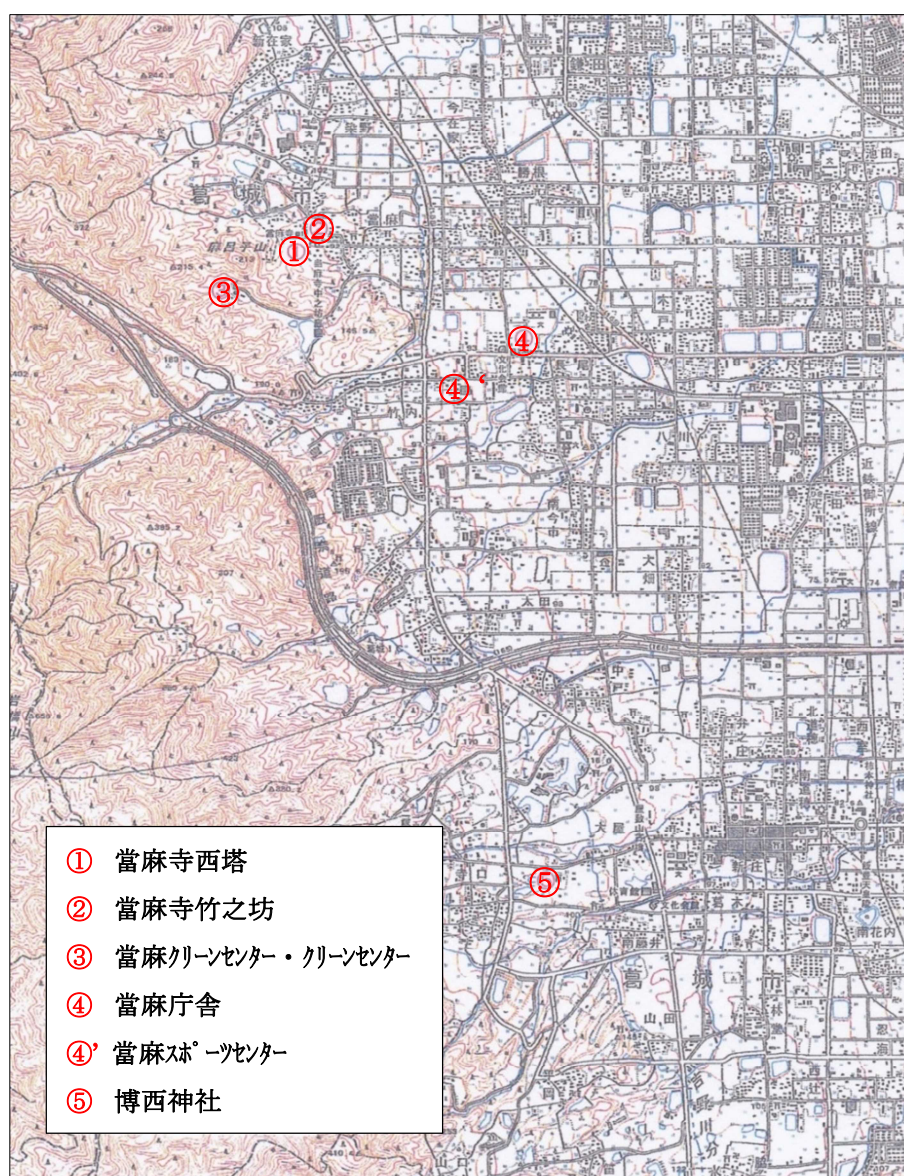
當麻クリーンセンター稼働中は同センターを大気汚染の発生源の可能性があるものとみなし、また操業停止後は、バックグラウンドのデータを取得するために同センターを始め、當麻寺西塔、當麻寺竹之坊、當麻庁舎、博西神社で継続測

定することとし、2017年4月のクリーンセンター稼働開始後も引続き測定を継続した。本報告はクリーンセンター稼働7年目のデータであり、2011年3月以前、2011年4月～2017年3月との比較データとして、環境変化の有無を把握する上で重要なデータである。

3 大気汚染測定方法

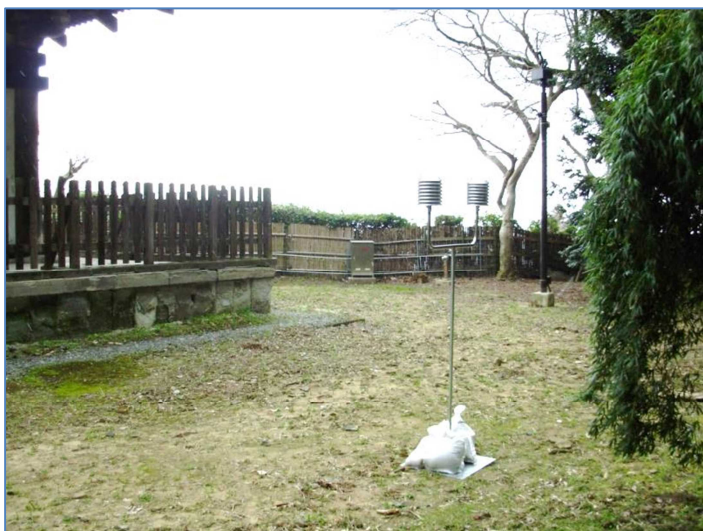
文化財所在地など多地点で継続的に大気汚染測定を行うためにトリエタノールアミン円筒濾紙法 (TEA-CF) を採用し測定点にシェルターを設置した。そして、とりわけ文化財に大きくかつ急激な損傷をもたらす酸性物質である二酸化硫黄 (SO_2)・二酸化窒素 (NO_2)・塩化物イオン (Cl^-) の3種類の濃度を測定した。

(図1) 葛城市大気環境測定位置図



(図2) 葛城市大気汚染測定シェルター設置状況

(2011年3月設置 2023年度現在も一部位置変更して測定を継続している)



① 當麻寺西塔（左の建物が西塔）



② 當麻寺竹之坊



③ 當麻クリーンセンター・クリーンセンター



④ 當麻庁舎（2022年6月まで）



④' 當麻スポーツセンター（2022年7月より）



⑤ 博西神社

大気汚染のサンプリングと分析は下記の通り（１）～（４）の工程で行った。

- （１）表面積 100cm² の円筒形の濾紙にトリエタノールアミンを含浸し、測定地点に設置したステンレス製シェルター（高さ 180cm）に装置し、およそ 1 か月間大気曝露したのち回収する（トリエタノールアミン円筒濾紙法・TEA-CF 法）。
- （２）回収した円筒濾紙から大気汚染物質を抽出し、分析試料とする。
- （３）試料をイオンクロマトグラフィーで分析し、汚染物質の濃度を計測する。
- （４）計測値を温度補正し 1 日当たりの濃度を算出する。二酸化硫黄(SO₂)の濃度は ppb/day、二酸化窒素(NO₂)の濃度は ppb/day、塩化物イオン(Cl⁻)の濃度は $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$ で表示する。

4 大気汚染調査の結果

測定の結果を図 3-1～図 3-3 に、2023 年度大気汚染月変化グラフとして二酸化硫黄、二酸化窒素、塩化物イオンの大気汚染物質ごとに示した。また、あわせ参照として 2022 年度、2021 年度の月変化グラフを添付した。

また表 1 に 2023 年度大気汚染日平均値を示すとともに、図 4 には大気汚染の種類ごとに 2011 年度～2023 年度の経年変化グラフもあわせ掲載した。

各測定点の大気汚染濃度の平均値を比較すると、それぞれの地点の周辺環境の特徴が反影されていることがわかる（表 1）。

二酸化硫黄（SO₂）は主として石油などの化石燃料の燃焼で発生する。二酸化硫黄濃度は、當麻庁舎/當麻スポーツセンターが 2.991ppb/day とやや高いのは市街地にあることに起因し、博西神社が 2.878ppb/day と低いのは樹木林に囲まれた清浄な環境であることを反映している。當麻寺西塔が 2.925ppb/day、當麻寺竹之坊が 2.924ppb/day と比較的低いのも當麻寺周辺の木々と囲まれているためである。クリーンセンターが 2.892ppb/day と低い値であることは焼却場における硫酸化物除去装置の効果であろう。いずれの測定地点も 2.878～2.991ppb/day と 2022 年度よりわずかに低く、奈良公園の文化財所在地（表 2）の春日大社（原生林内）と比較しても同等の値である。

二酸化窒素（NO₂）は主として自動車の排気ガスに含まれ、測定地点によって明らかな差がみられる。當麻スポーツセンターは 6.446ppb/day とやや高いのは市街地で自動車通行量の多い道路と駐車場に面しているためである。博西神社は 5.120ppb/day と低く森林に囲まれた清浄環境にあることを示している。當麻寺西塔が 5.465ppb/day、當麻寺竹之坊が 5.345ppb/day で山林と広い境内に囲まれ自動車通行は少なく、博西神社と同等に低い。クリーンセンターは 5.404ppb/day と比較的低いのは焼却装置の窒素酸化物除去装置の効果であろう。いずれの測定点も 5.120～6.446ppb/day で、當麻スポーツセンターと博西

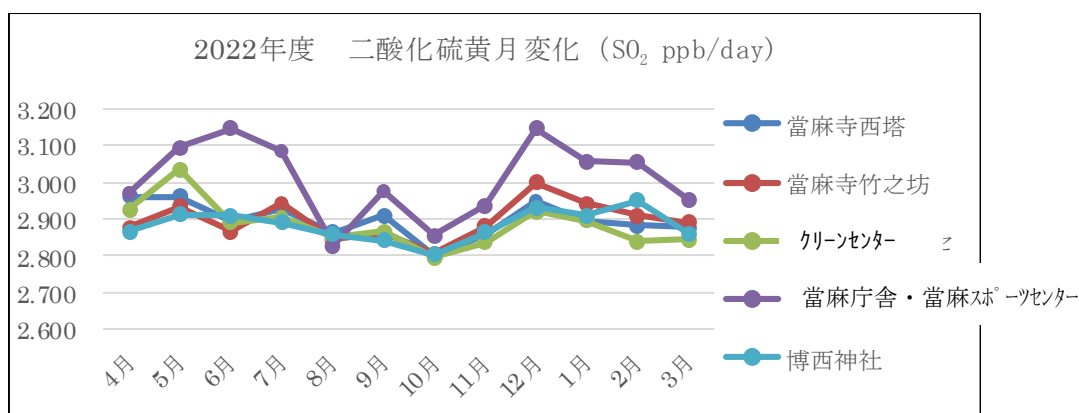
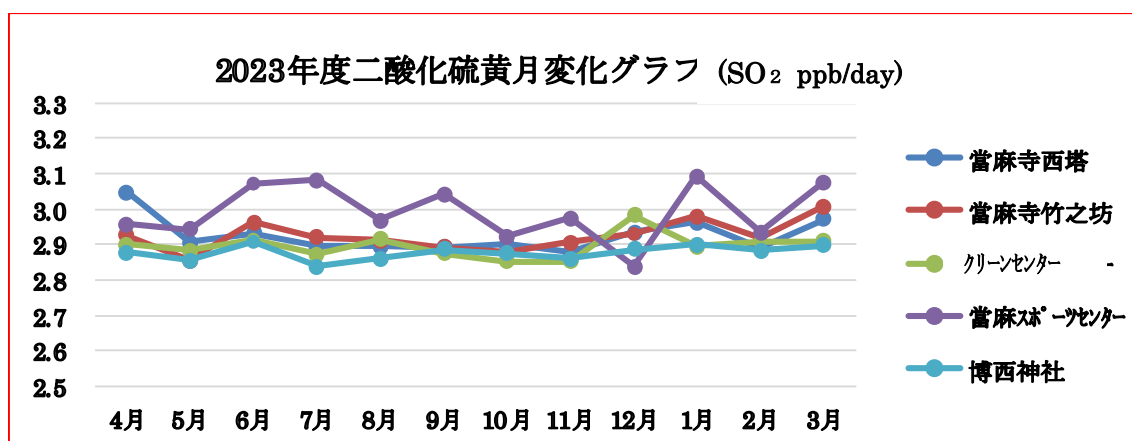
神社を除くと 2022 年度よりわずかに高いが、奈良北部所在文化財(表 3)の測定値に比較してもわずかであるが低い値である。

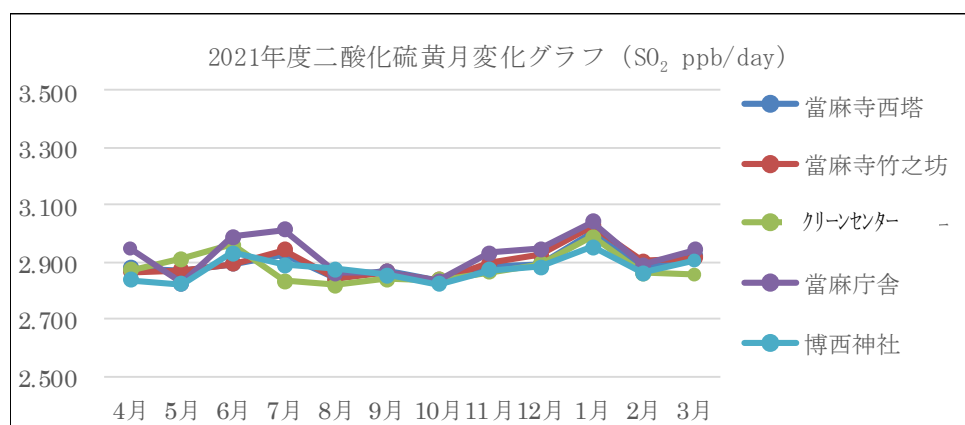
塩化物イオンは主としてプラスチックごみの焼却のほか食物廃棄物の焼却により発生する。市街地の当麻スポーツセンターで $3.981 \mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$ とやや高い。博西神社が $1.664 \mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$ で木々に囲まれた清浄な地であることを示している。当麻寺西塔が $2.393 \mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$ 、当麻寺竹之坊は $2.368 \mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$ である。クリーンセンターは $1.972 \mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$ で当麻寺に近い値である。いずれの測定点も $1.664 \sim 3.981 \mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$ で、2022 年度に比較すると当麻寺西塔を除いて低い値を示している。塩化物イオンの濃度は観測点および月による変化が激しい特性がある。奈良北部所在文化財(表 3)の測定値に比較して、わずかな高低差はあるものの、同等ないし低い値である。

2023 年度の硫黄酸化物、窒素酸化物の測定値は 2022 年度に比べてほぼ横ばいの状況である。

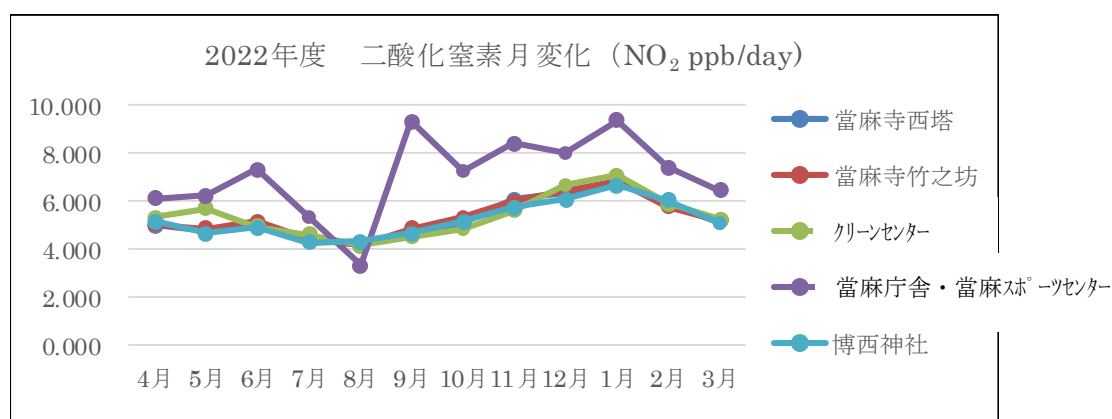
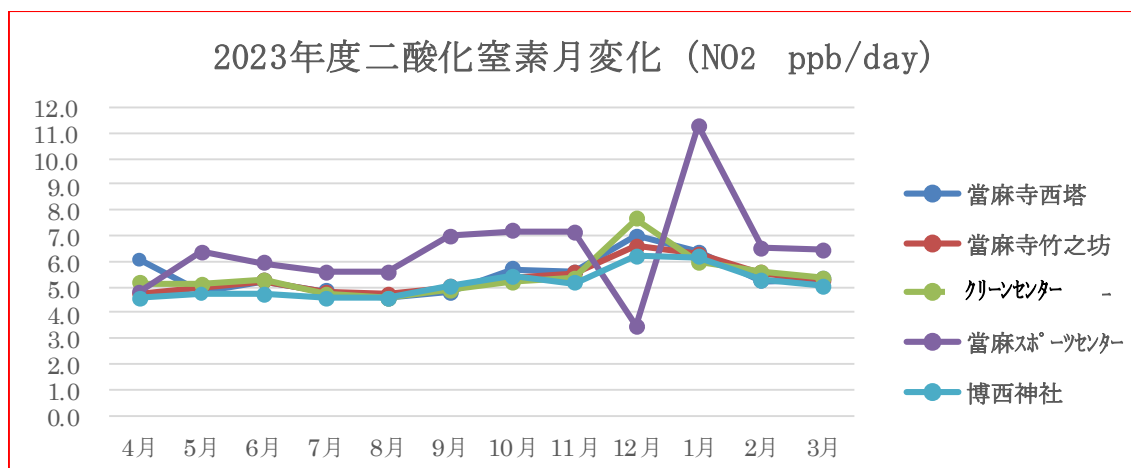
(図 3-1) 2023 年度 二酸化硫黄月変化グラフ

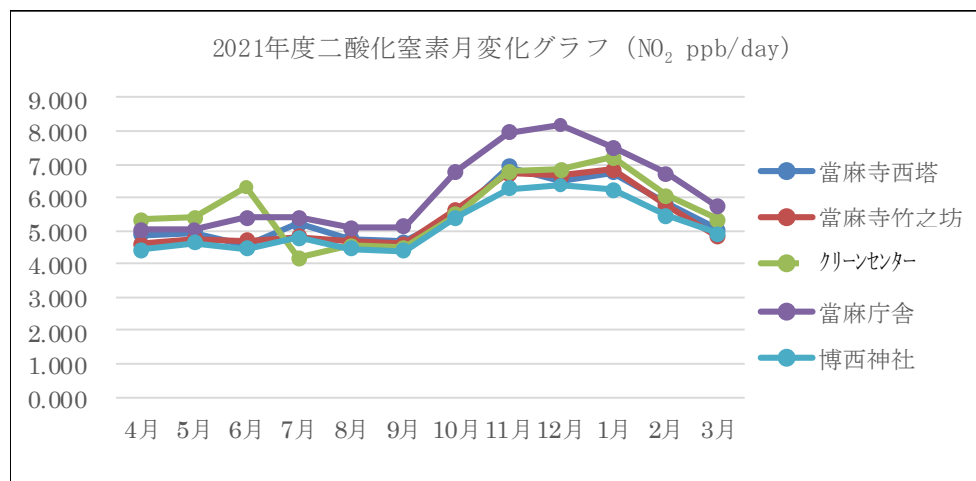
(2022 年度・2021 年度データを添付)



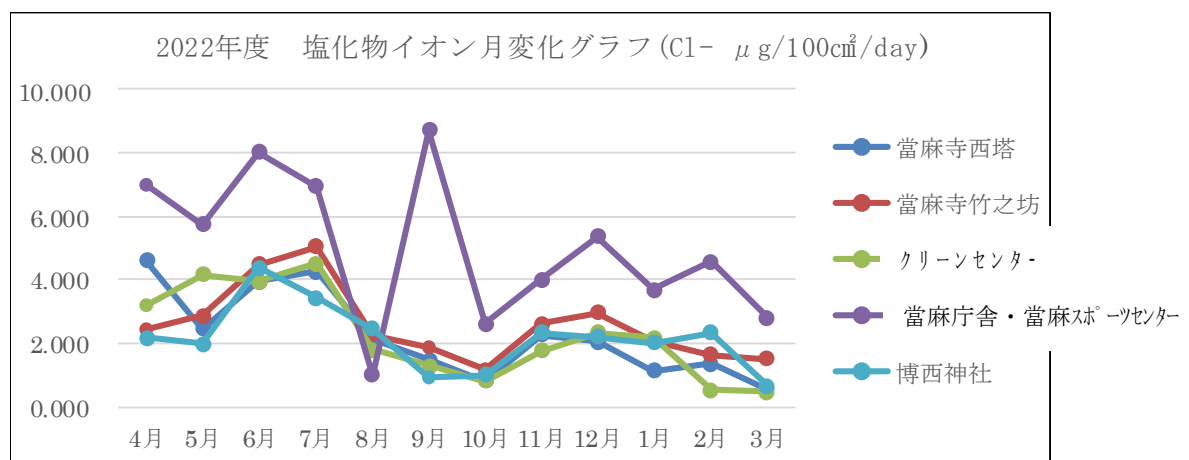
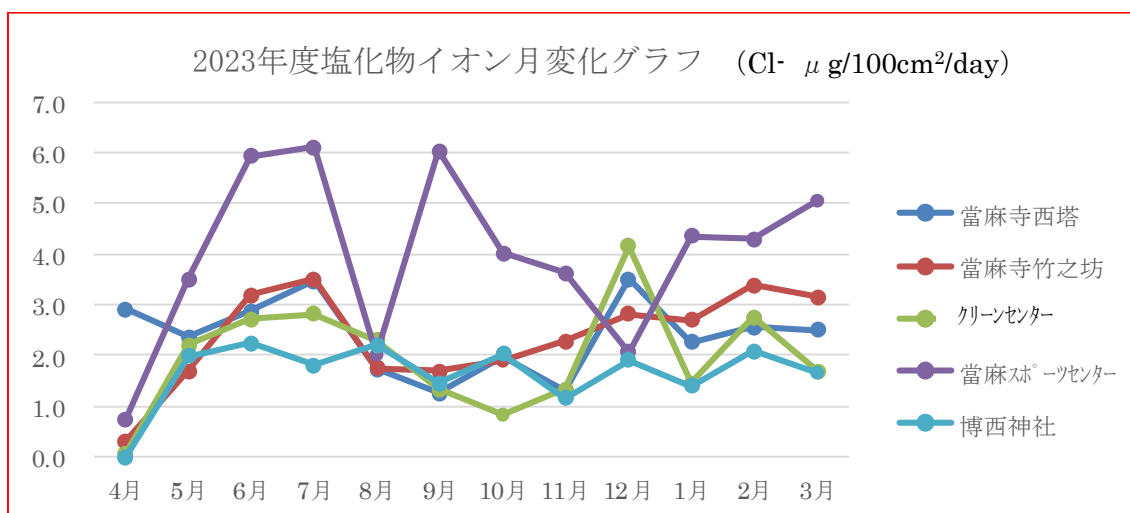


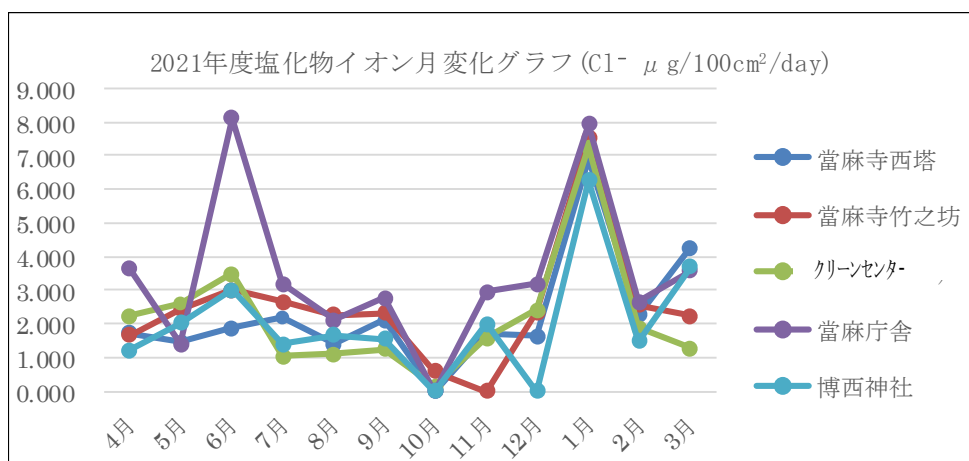
(図 3-2) 2023 年度 二酸化窒素月変化グラフ
(2022 年度・2021 年度データを添付)





(図 3-3) 2023 年度 塩化物イオン月変化グラフ
(2022 年度・2021 年度データを添付)

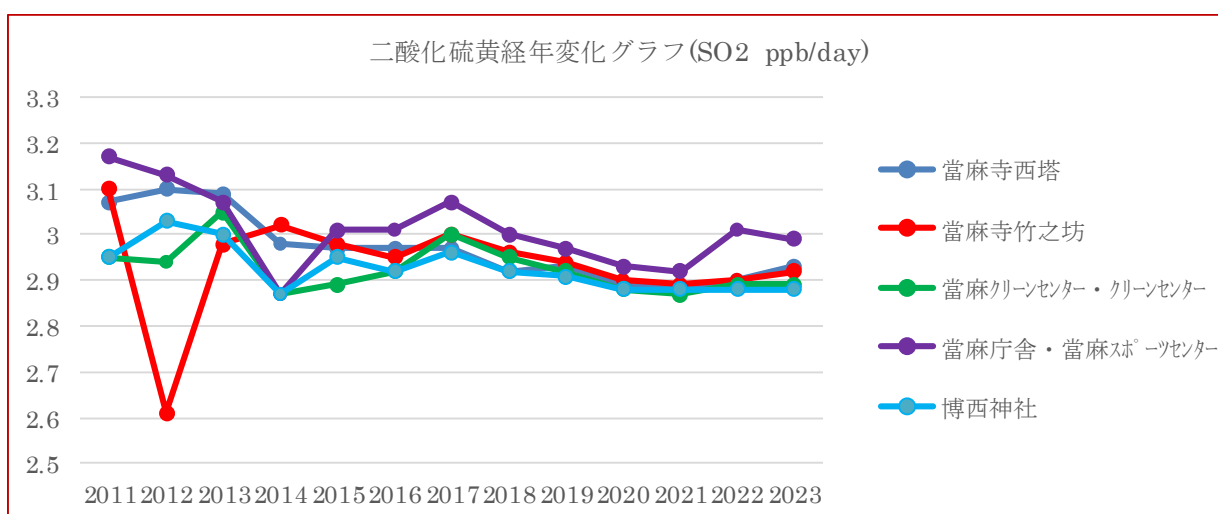


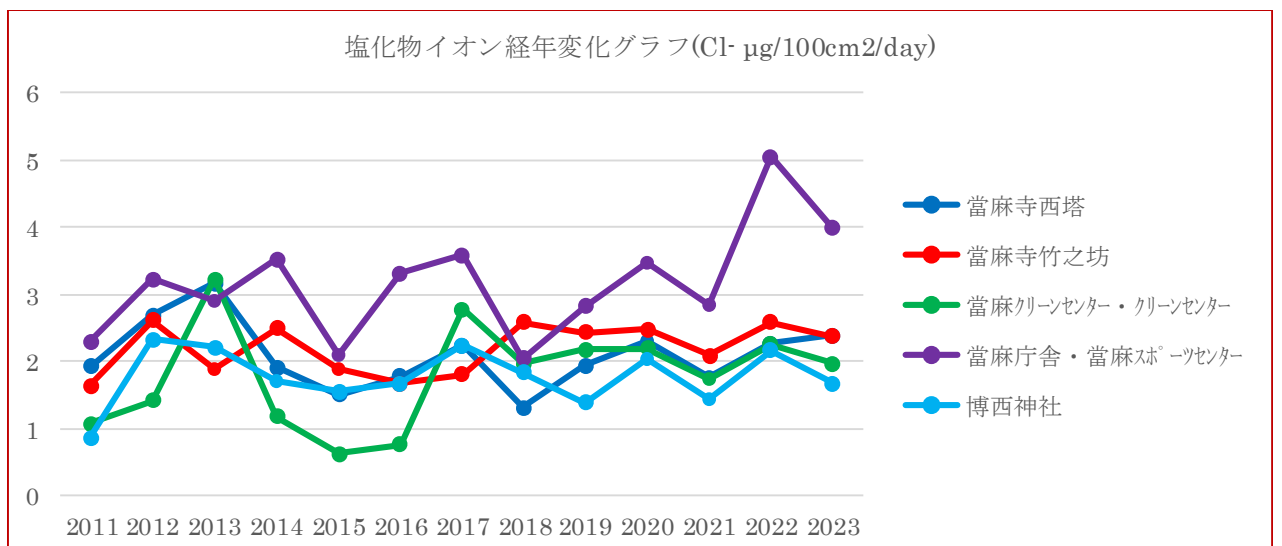
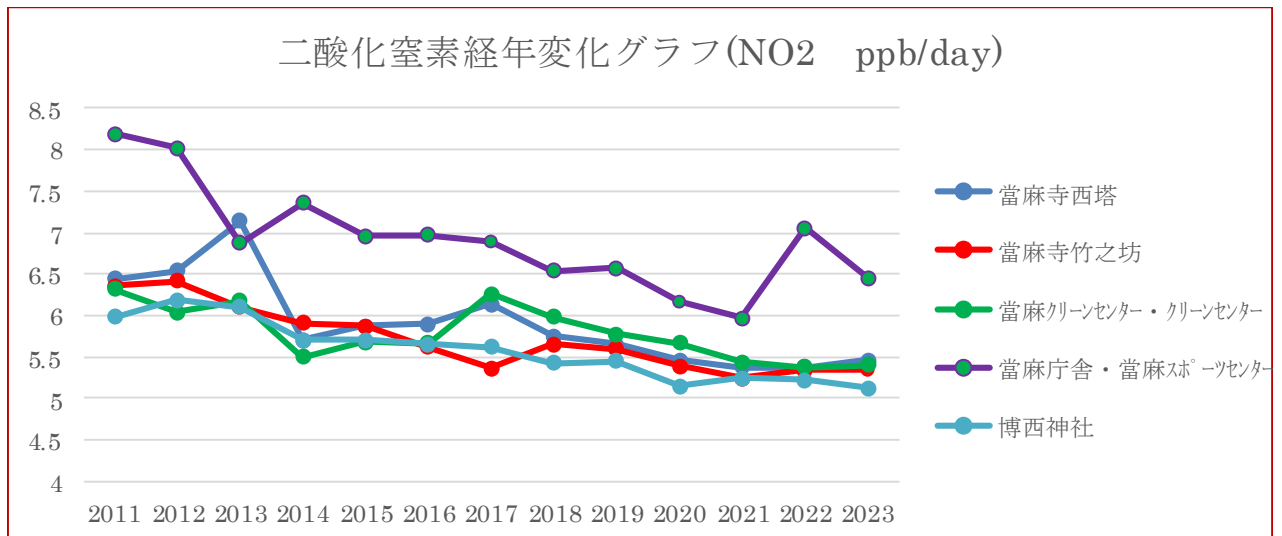


(表 1) 2023 年度 大気汚染日平均値
(2011～2023 年度経年変化グラフを添付)

測 定 地 点	二酸化硫黄 (SO ₂) ppb/day	二酸化窒素 (NO ₂) ppb/day	塩化物イオン (Cl ⁻) μ g/100cm ² /day
① 当麻寺西塔	2. 925	5. 465	2. 393
② 当麻寺竹之坊	2. 924	5. 345	2. 368
③ 当麻クリーンセンター・クリーンセンター	2. 892	5. 404	1. 972
④ 当麻庁舎・当麻スポーツセンター	2. 991	6. 446	3. 981
⑤ 博 西 神 社	2. 878	5. 120	1. 664

(図 4) 大気汚染の 2011～2023 年度の経年変化





各測定点の社会的・自然的環境から見るならば、いずれの大気汚染データにおいても、当麻庁舎・当麻スポーツセンターのような市街地では汚染濃度は高く、博西神社のように森林に囲まれた地点は汚染濃度が低い。当麻クリーンセンターは2011年9月に操業を停止し、また、2017年4月にクリーンセンターの稼働後一時高くなったが、その後は博西神社と同程度に大気汚染濃度は低い。

また、各測定点の大気汚染濃度の月変化は季節による変化が顕著で、二酸化硫黄と二酸化窒素は冬期に濃度が高くなり、塩化物イオンは夏期と冬期に濃度が高くなる。二酸化硫黄と二酸化窒素が冬期に高くなる傾向は一般的現象として全国で見られる季節変動であるが、塩化物イオンの季節変化は、プラスチックゴミや廃棄食物の影響が考えられ、それらの多少が一要因と思われるが、なぜ、夏期と冬期にプラスチックゴミや廃棄食物が多くなるのかは詳かではない。

当麻クリーンセンター稼働中の2011年度と稼働停止後の2012～2016年度、

そしてクリーンセンターの稼働後の 2017～2023 年度の各大気汚染別の測定値を表 2-1、2-2、2-3 に示した。二酸化硫黄・二酸化窒素・塩化物イオンの各濃度は、クリーンセンターが他の観測点に比べて必ずしも高いものではない。

しかし、これらを見ると 2017 年 4 月の稼働後はそれぞれの地点でやや濃度の上昇が見られたが、その後は平衡または減少傾向にあった。

(表 2-1) 二酸化硫黄(SO₂)の年度比較(年度平均値 ppb/day, 小数点以下 3 位捨五入)

測定地点/年度	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
① 當麻寺西塔	3.07	3.10	3.09	2.98	2.97	2.97	2.97	2.92	2.93	2.89	2.88	2.90	2.93
② 當麻寺竹之坊	3.10	2.61	2.98	3.02	2.98	2.95	3.00	2.96	2.94	2.90	2.89	2.90	2.92
③ 當麻クリーンセンター・クリーンセンター	2.95	2.94	3.05	2.87	2.89	2.92	3.00	2.95	2.92	2.88	2.87	2.89	2.89
④ 當麻庁舎・當麻スポーツセンター	3.17	3.13	3.07	3.12	3.01	3.01	3.07	3.00	2.97	2.93	2.92	3.01	2.99
⑤ 博西神社	2.95	3.03	3.00	2.94	2.95	2.92	2.96	2.92	2.91	2.88	2.88	2.88	2.88

(表 2-2) 二酸化窒素(NO₂)の年度比較(年度平均値 ppb/day, 小数点以下 3 位捨五入)

測定地点/年度	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
① 當麻寺西塔	6.44	6.54	7.14	5.70	5.87	5.90	6.14	5.76	5.65	5.46	5.38	5.38	5.46
② 當麻寺竹之坊	6.36	6.42	6.10	5.91	5.87	5.62	5.36	5.65	5.60	5.39	5.25	5.34	5.35
③ 當麻クリーンセンター・クリーンセンター	6.32	6.05	6.18	5.50	5.68	5.67	6.26	5.98	5.77	5.67	5.44	5.38	5.40
④ 當麻庁舎・當麻スポーツセンター	8.19	8.03	6.88	7.36	6.96	6.97	6.89	6.54	6.57	6.17	5.97	7.05	6.45
⑤ 博西神社	5.98	6.19	6.10	5.70	5.70	5.65	5.62	5.43	5.45	5.15	5.25	5.22	5.12

(表 2-3) 塩化物イオン(Cl⁻)年度比較(年度平均値 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2/\text{day}$, 小数点以下 3 位四捨五入)

測定地点/年度	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
① 當麻寺西塔	1.92	2.69	3.16	1.90	1.50	1.77	2.23	1.32	1.94	2.30	1.76	2.26	2.39
② 當麻寺竹之坊	1.63	2.61	1.88	2.49	1.88	1.66	2.80	2.58	2.43	2.47	2.08	2.58	2.37
③ 當麻クリーンセンター・クリーンセンター	1.08	1.42	3.22	1.18	0.62	0.76	2.78	1.96	2.17	2.19	1.73	2.25	1.97
④ 當麻庁舎・當麻スポーツセンター	2.30	3.22	2.90	3.51	2.09	3.31	3.57	2.04	2.82	3.46	2.84	5.04	3.98
⑤ 博西神社	0.87	2.34	2.20	1.70	1.54	1.66	2.24	1.83	1.39	2.03	1.44	2.16	1.66

5 クリーンセンターの焼却排気と當麻寺の文化財の環境

2011年9月までの當麻クリーンセンターにおける二酸化硫黄、二酸化窒素、塩化物イオンのいずれの測定値は、その後、クリーンセンター建設中であった2012～2016年度の測定値とともに、清浄地の博西神社や當麻寺と同等であった。周囲を山林に囲まれて樹木の大気汚染浄化作用もあいまって良好な環境であったといえよう。

そして、2017年4月からのクリーンセンター稼働後は、2017年度をピークに二酸化硫黄、二酸化窒素はともに下降傾向にあり、一方、塩化物イオンは2017年度をピークに2018年は減少するが、その後は、再び一部地点で増加傾向に転じて現在に至っている。

さて、葛城市全体の大気汚染状況を見るならば、二酸化硫黄、二酸化窒素は2018年以降減少しているが、これは2020年春からの新型コロナウイルス(Covid19)の感染拡大による社会生活・経済活動の自粛に起因するものと思われる。

しかし、塩化物イオンはほぼ平衡状態で推移してきたが2022年に増加に転じた。引き続く新型コロナウイルスによる行動自粛の一方で、プラスチック容器や食物廃棄物の焼却が急増したことが塩化物イオンの増加となって現れたものと推測できる。2023年度はやや下降しており、今後も、下降ないし低濃度の平衡状況が維持できるかが注目される。

文化財環境の視点で見ると、葛城市の大気汚染値は、世界遺産「古都奈良の文化財」に登録されている社寺等の測定値（表3 奈良市所在文化財等における大気測定結果2010年度平均値）と比較して、ほぼ等しい値である。

このように奈良の諸社寺の値におおむね等しいか、やや低いことから、葛城市の文化財の劣化・損傷が急速に進行することはないと思われる。

しかしながら、大気汚染濃度が低いといえども、文化財の場合は50年、100年と影響は積り重なる。當麻寺西塔の基壇周囲の凝灰岩化粧石の2019年の修理以前の損傷や塔頂部の金銅製相輪のうす緑色の錆は酸性雨や酸性大気などの長期にわたる大気汚染の影響によるものであり、緩やかではあるが劣化が進んでいるものとみられる。これは近隣から飛来する越境汚染などの広範囲かつ長期の環境悪化の影響も加わったものと考えるのが合理的であろう。

葛城市の大気汚染濃度は、奈良の諸社寺と同程度であるものの、大気汚染の現況把握やクリーンセンター焼却炉の汚染除去装置のメンテナンス等の管理の徹底が望まれる。今後も継続して観測を行なう必要がある。

(表 3) 奈良所在文化財等における大気測定結果 2010 年度平均値

(2010 年 1 月～12 月 トリエタノールアミン円筒濾紙法)

観 測 地 点	二酸化硫黄(SO ₂) ppb/day	二酸化窒素(NO ₂) ppb/day	塩化物イオン(Cl ⁻) μg/100cm ² /day
東 大 寺	3. 0 0	7. 9 4	2. 6 7
興 福 寺	2. 9 1	9. 3 2	1. 5 7
春日大社	2. 9 0	6. 8 3	1. 6 7
元 興 寺	3. 0 1	8. 9 2	1. 7 4
平 城 宮 跡	3. 1 7	1 0. 0 0	4. 2 1
唐 招 提 寺	2. 9 1	8. 0 8	3. 0 5
薬 師 寺	3. 1 8	9. 7 4	5. 0 1
円 成 寺	2. 9 0	5. 4 8	1. 2 7

6 あとがき

本調査は 2023 年度の 1 年間の環境測定の結果である。今後も、クリーンセンター稼働下で調査を継続することにより、葛城市の大気環境、なかんずく、當麻寺等の文化財環境を把握でき、さらに良好な環境を維持する指標となるものと考ええる。そして、奈良県下の文化財は、隣接する大阪など、さらにはより広い東アジア、そして地球全体を覆う大気汚染の影響を受けざるを得ないのが現状でもある。

その事実、葛城市でも當麻寺の西塔の先端を飾る金銅製相輪の錆や凝灰岩製基壇化粧石の急激な劣化・損傷に見ることができる。

その他、奈良では東大寺金堂正面の金銅八角灯籠や興福寺南円堂の屋根頂部の金銅擬宝珠、室生・大野寺磨崖仏、海外では韓国や中国の石仏、イタリアやギリシャの石造建造物の損傷などを目の当たりにすると、今や地球上のすべての文化財が大気汚染によって日々損傷が進んでいることを認めざるを得ない。文化財保存のための継続的な環境改善と適正な文化財環境の国際的基準の策定が急がれる。

本調査では、奈良大学名誉教授・西山要一がトリエタノールアミン円筒濾紙の設置・回収と本報告の執筆、奈良大学文学部文化財学科卒業生・井上富美子が円筒濾紙の作製と分析を行った。

