

太陽黄経による季節区分と大気環境の問題

苗村 晶彦・福岡 義隆¹

総合教養センター

はじめに

現在の地上付近の大気組成は窒素 (N_2) 78.1%、酸素 (O_2) 20.9%である。両者ではほぼ100%近くになるが、多くの種類の微量物質が大気中に含まれている。地球温暖化の原因物質である二酸化炭素 (CO_2) は約0.04%、大気汚染物質として問題となっている二酸化硫黄 (SO_2)、二酸化窒素 (NO_2) およびオゾン (O_3) も微量に含まれている。

人間活動が活発になる反面、大気汚染物質が排出され、大気環境の質もそれに伴い変化し、その微量物質が問題となっている。地球全体で CO_2 は18世紀半ばからの産業革命以降急激に増大した。日本では、近年中国を中心とした大陸からの $\text{PM}_{2.5}$ (粒径 $2.5\mu\text{m}$ 以下の微量物質) 等の大気汚染問題も社会現象となり、グローバル化している¹⁾。

ところで、われわれの生活において、地球の地軸は太陽と結ぶ面に対して23.4度傾いているために季節変化が生じる。北半球が夏であれば、南半球は冬となる。1632年にイタリアのガリレオ・ガリレイ (1564年生) が『天文対話』を発表し、地動説を裁判で展開したが、天動説が信じられていた古来より、西洋および東洋においても太陽黄道の見かけの運動から季節区分の考え方が存在した。

産業革命以降、特に人間活動による自然への影響は大きい。その間、現代まで約250年ほどである。古来より約2000年以上に渡り、上述の季節区分が人間の自然現象や人間の生活に影響を与え、長年定着して、現代にも通じている考えもある。ここでは、太陽黄経による季節の分け方の歴史的背景等を述べ、

その太陽黄経による季節区分で東京、福島および釜石における NO_2 の変動解析を行った。また、産業革命前後の17世紀および19世紀のイギリスの大気環境の問題に触れ、現代の日本における大気環境の問題である光化学スモッグ注意報についても考察する。

1. 太陽黄経による季節区分～黄道十二宮と二十四節気

太陽の黄道座標では、天球上の緯度と経度にあたるものとして黄緯と黄経を使用する。太陽黄緯は地球の公転面の天球上への投影である黄道を0度、地球の公転面に垂直な方向を90度として表す。太陽黄経は太陽が真東から昇る春分点を0度とする (図1)。現在使われているグレゴリオ暦の1月1日という年のスタート日は約280度と中途半端な太陽黄経から始まる。イギリスのグリニッジにおける本初子午線 (経度0度) 上の日本の中央標準時では2017年の春分点は3月20日19時29分である。春分点から、太陽の黄道上の見かけの運動方向と同じ方向に向かって値を増やして春分点に戻る360度まで数える。すなわち夏至、秋分および冬至の黄経はそれぞれ90度、180度および270度となる。

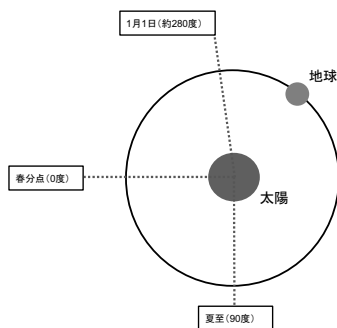


図1 太陽黄経 (春分点など)

¹ 広島大学・立正大学名誉教授

1. 1. アリストテレスの四元素説と占星術の発展

空気や気象に触れた考えは古代ギリシアからあり、アリストテレスの著作にも存在する。アリストテレスは紀元前384年にエーゲ海北岸の半島で生まれた。さまざまな著作を残しているが『自然学』『天体論』『気象学』といった自然哲学系の著作もあり、人類の歴史で最初の言わば“グローバルゼーション”となるヘレニズム文化の礎となったアジア遠征のアレキサンドロス大王（紀元前356年生）へ帝王学も伝授している。そのアリストテレスの『自然学』に四元素説がある。四元素説とは「物質は、火、空気、水、土の四元素からなる」という説である。四元素はギリシア人には物質性の混合状態として見られたが、これらは常に均衡を求め、人間と自然の中で相互作用を行うものであった²⁾。

天文学や暦法を発達させたメソポタミア文明で占星術が生まれた。古い時代には占星術は天文学と同一のもので、共に発展して分岐してゆく。占星術は、アリストテレスの四元素説に心理学を加えた。「火」の性質は霊感的であるとし、「（土＝）地」のそれは実践的であり、「水」のそれは情緒的であり、「空気」のそれは知的であるという4つの気質を組み込み、人間社会を統制していく。こうして占星術は、バビロニアで形成された基礎に、ギリシアの宇宙論やギリシア神話と、アリストテレス的な自然観が重なりあってシステム化されていった³⁾。中世の世界観においてもアリストテレスの哲学的で科学的な体系が圧倒的な説明力ももっていたことに由来している⁴⁾と考えられる。占星術は現代でもさまざまな形で生きており、イギリスのケント大学等で占星学の学位が取得できる。

表1に太陽黄経による季節区分として、黄道十二宮と二十四節気を示す。表1の通り、それぞれの黄道十二宮は四元素と対応している。ここで、宮とは角度として30度に相当する。1年を12等分（太陽黄経30度毎）に区切ったものである。1年（1周）＝12宮＝360度に相当する。太陽黄経0度から白羊宮となり、例えば太陽黄経180度から天秤宮となる。また、白羊宮が牡羊座、金牛宮が牡牛座に対応する。なお、紀元前後の頃には牡羊座の初点にあったはずの春分点は後退した結果、現在では魚座の初めの方

にあり、実際の星座の名前と、座標としての黄道十二宮の名前とは区別した方が良い²⁾。この表には合わせて二十四節気の区分も対比させたが、二十四節気については後述する。なお、期間の日付は年によって変わるので、おおよその目安である。

表1 太陽黄経による季節区分
（黄道十二宮と二十四節気）

期間	太陽黄経	黄道十二宮	四元素	二十四節気
3月21日～4月4日	0度～			春分
4月5日～4月19日	15度～	白羊宮	火	清明
4月20日～5月4日	30度～			穀雨
5月5日～5月20日	45度～	金牛宮	土	立夏
5月21日～6月5日	60度～			小満
6月6日～6月20日	75度～	双子宮	空気	芒種
6月21日～7月6日	90度～			夏至
7月7日～7月22日	105度～	巨蟹宮	水	小暑
7月23日～8月6日	120度～			大暑
8月7日～8月22日	135度～	獅子宮	火	立秋
8月23日～9月7日	150度～			処暑
9月8日～9月22日	165度～	処女宮	土	白露
9月23日～10月7日	180度～			秋分
10月8日～10月22日	195度～	天秤宮	空気	寒露
10月23日～11月6日	210度～			霜降
11月7日～11月21日	225度～	天蠍宮	水	立冬
11月22日～12月6日	240度～			小雪
12月7日～12月21日	255度～	人馬宮	火	大雪
12月22日～1月4日	270度～			冬至
1月5日～1月19日	285度～	磨羯宮	土	小寒
1月20日～2月3日	300度～			大寒
2月4日～2月18日	315度～	宝瓶宮	空気	立春
2月19日～3月5日	330度～			雨水
3月6日～3月20日	345度～	双魚宮	水	啓蛰

1. 2. 古代中国からの二十四節気

二十四節気は、中国の戦国時代に月の運行をもとにした太陰暦の季節のずれを正すために、太陽の動きをもとに考案され、1年を24等分（太陽黄経15度毎）に区切ったものである。日本には7世紀に暦とともに伝来し、太陰暦と二十四節気とが合体した太陰太陽暦が使われるようになった。中世の中国においても、中国の気候はおそらく二十四節気七十二候に由来すると考えられる⁵⁾。二十四節気は毎年同じ時季に、同じ節気が来ることや、節気の間隔が約15日と一定しており、半月ごとの季節変化に対応できているので、農業や生活の目安として便利なものである。また、福岡⁶⁾は、二十四節気は地球の公転と自転からくる太陽光の入射角の季節変化と日変化に適応しようとした人間の営みと説いている。1872年、明治政府によってグレゴリオ暦が採用されたため、二十四節気は暦としての役割を終えたが、われわれの暮らしの隅々に二十四節気は生き続けている⁷⁾。

太陽黄経0度の春分は「昼と夜の長さが等しくなり 寒さもすっかりやわらぐ」、黄経90度の夏至は「一年中で一番昼が長く 梅雨の雨が似合う花の咲く季節」、黄経180度の秋分は「秋の彼岸 暑さもおさまり みのりの秋を迎える」、黄経270度の冬至は「一年中で夜が最も長く この日を境に日が伸び始める」となる⁷⁾。

2. 東京、福島および釜石における黄道十二宮別や二十四節気別の NO₂ 濃度の季節変動

ここでは、首都圏（1都7県）で最も人口が多い東京都、東北地方で21世紀に入り最も光化学スモッグ注意報の発令延日数が多い福島県および都心に比べて比較的人口が少ない三陸復興国立公園の中心に位置する岩手県釜石市の大気環境に触れる。大気環境の指標としては NO₂ とした。NO₂ 濃度は、大気汚染物質の中でも比較的測定しやすい一次汚染物質であり、簡易測定の精度検討についても散見される^{8), 9)}。1992年に制定された自動車 NO_x 法の施行等により NO₂ 濃度は改善傾向にあるが、光化学スモッグ注意報は依然として首都圏を中心に発令されており、東京圏（1都3県）において夜間 NO₂ 濃度とポテンシャルオゾン濃度との関係から、東京圏からの汚染の輸送が指摘される例¹⁰⁾ など光化学スモッグの前駆物質（図2¹¹⁾）となる NO₂ 濃度の動態解析は重要である。

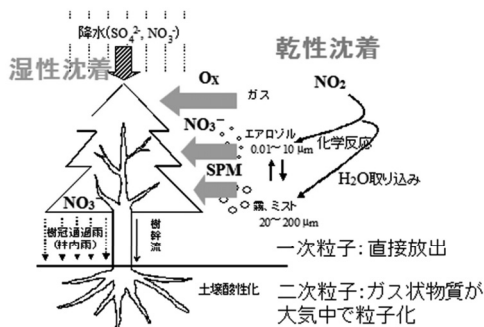


図2 樹木への酸性沈着

太陽黄経による黄道十二宮別や二十四節気別に着目して、東京、福島および釜石における NO₂ 濃度の変動を解析した。解析の対象地は、東京は東京都港区の東京タワー（北緯35.66度、東経139.75度、標高23m、高度25m）、福島は福島県福島市の森合

小学校（北緯37.77度、東経140.45度、標高78m）、釜石は岩手県釜石市の合同庁舎4階（北緯39.27度、東経141.85度、標高15m）とした（図3）。東京都、福島県および岩手県の人口は2016年10月1日現在（以下、同様）でそれぞれ、1364万、190万、127万人となっている。また、東京23区、東京港区、福島市および釜石市の人口はそれぞれ、938万、25万、29万、3.6万人となっている。ちなみに福島県で人口が最も多い市町村はいわき市で35万、岩手県のそれは盛岡市で30万となっている。解析した時期は、2010年3月21日（春分点）から2012年3月20日までとし、黄道十二宮別や二十四節気別に NO₂ 濃度の変動を解析した。解析に使用したデータは各自治体が設置している大気常時監視測定局の測定結果とした。また、欠損値は除外して解析を行った。

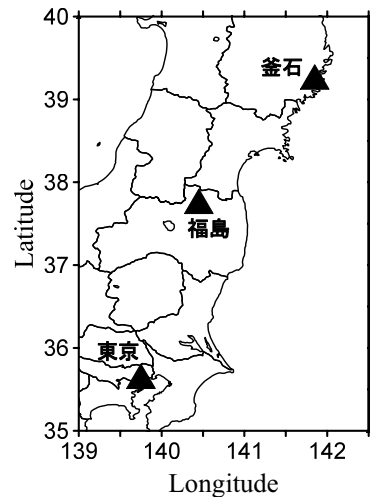


図3 調査地

その結果、NO₂ 濃度の全平均値は東京、福島および釜石でそれぞれ21.5 ppb、11.2 ppb および9.3 ppb となっている（注：ppb とは parts per billion の略で10億分の1である）。同時期に解析した例では、神奈川県茅ヶ崎市で18.0 ppb、横浜市港南区で22.4 ppb となっている^{11), 12)}。表2には NO₂ 濃度の1時間値の1日平均値の上位5日を記載した。表にはその日の二十四節気も併せて記載した。東京では11月29日に52.8 ppb となった。NO₂ の環境基準は1時間値の1日平均値が0.04 ppm から0.06 ppm までのゾーン内またはそれ以下である（注：ppm とは parts per

million の略で100万分の1である)。従って、この日の東京タワーにおいては52.8 ppb (=0.0528 ppm)で、環境基準を満たしているといえる。福島および釜石においては、それぞれ3月2日、3月15日に最高値となっている。

表2 東京、福島および釜石におけるNO₂濃度の1日平均値の上位5日

東京			福島			釜石		
2011.11.29	小雪	52.8 ppb	2012.3.2	雨水	36.5 ppb	2011.3.15	啓蟄	27.2 ppb
2011.11.3	霜降	52.4 ppb	2012.3.6	啓蟄	36.2 ppb	2011.3.16	啓蟄	26.0 ppb
2011.11.5	雨水	50.9 ppb	2012.2.29	雨水	34.9 ppb	2010.3.25	春分	25.6 ppb
2011.6.22	夏至	48.4 ppb	2012.3.1	雨水	34.7 ppb	2011.3.23	芒種	25.5 ppb
2010.11.8	立冬	48.2 ppb	2011.2.17	立春	31.7 ppb	2011.3.17	芒種	24.9 ppb

黄道十二宮別の東京、福島および釜石におけるNO₂濃度を図4に示す。東京では人馬宮（太陽黄経240～270度）の時に28.2 ppbと最も高くなっている。また福島においては宝瓶宮（太陽黄経300～330度）の時に15.2 ppbと高くなっている。それらの理由の一因と考えられるのは、窒素酸化物（NO_x）の濃度は12月を中心とした冬季に接地逆転層による影響で高濃度となることであって、これまでの研究で明らかにされている¹³⁾。福島においても大気汚染の指標として降下煤塵と気温の逆転発生率との関連が述べられ¹⁴⁾、¹⁵⁾、都市部においては接地逆転層と大気汚染の関係が問題視される¹⁶⁾。一方、釜石においては白羊宮（太陽黄経0～30度）の時に13.1 ppbと高くなっている。

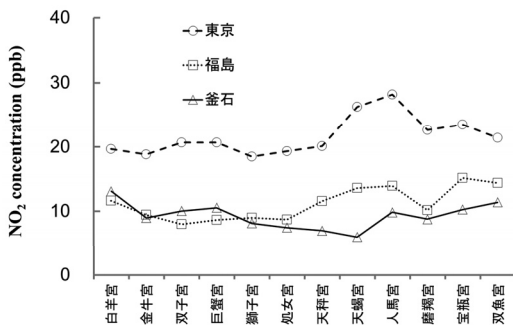


図4 東京、福島および釜石における黄道十二宮別のNO₂濃度

二十四節気別の東京、福島および釜石におけるNO₂濃度を図5に示す。東京では大雪（太陽黄経255～270度）の時に28.3 ppbと最も高くなっている。大雪は「南天の実が赤く色づき 北国は雪を纏って

冬の姿となる」という時季である¹⁷⁾。また福島においては雨水（太陽黄経330～345度）の時に16.4 ppb、釜石においては春分（太陽黄経0～15度）の時に14.4 ppbと高くなっている。

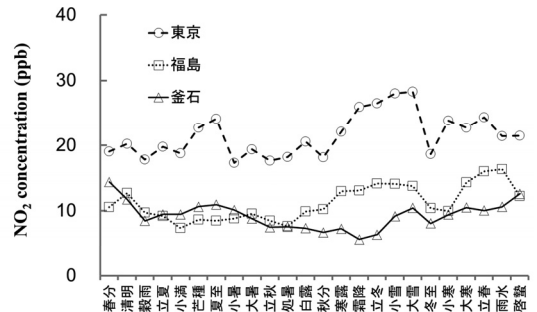


図5 東京、福島および釜石における二十四節気別のNO₂濃度

空気中の反応ではヒドロキシルラジカル（OH ラジカル）がNO₂を直接酸化し、硝酸（HNO₃）が生成する。これは光化学反応でOH ラジカルが生成する日中にかかる反応である¹⁷⁾。またNO₂は、光化学スモッグの主因となるO₃の生成にも関与する。また、NOはO₃によって酸化されNO₂となる¹⁸⁾。従って、夏季に東京や福島でNO₂濃度が低くなるのは強い日射の影響から主にOH ラジカルによってNO₂が消失されてNO₂濃度が低くなったものと推測される。一方、釜石においては、春季から夏季にかけて高くなっている。釜石ではこの時季にNO₂が消費されないことが考えられる。また、二十四節気における霜降の時季に東京も福島もNO₂が上昇するが、釜石ではNO₂の低下が見られるのも特色である。このように黄道十二宮別にしろ、二十四節気別にしろ、釜石は都心の東京や福島と異なるNO₂の季節変動であった。

また、NO₂は光化学反応によって、二次的大気汚染物質であるO₃への化学変化に寄与し、O₃が高濃度となり光化学スモッグが発生する。苗村・渡邊¹⁰⁾は、東京圏（1都3県）の中心に位置する東京タワーにおいて夜間、NO₂高濃度事例を解析したところ、ポテンシャルオゾン濃度について季節別に特徴があったことを報告している。なお、ポテンシャルオゾンとは、おおよそO₃とNO₂の和として考える。ポテンシャルオゾン濃度が春季から夏季において高濃度

となり、夜間ポテンシャルオゾン濃度が平均80 ppbを越えた時もいずれも春季から夏季にかけてであった。その際、翌日の日中ポテンシャルオゾン濃度がいずれも平均80 ppbを越え、その3例の内1例では山梨県で、光化学スモッグ注意報が発令される事例があり、東京圏からの大気汚染物質の輸送が原因であると推測される。

更に、苗村・渡邊¹⁷⁾は、神奈川県中央南部に位置する茅ヶ崎市における大気環境について、二十四節気別にNO₂濃度の動態を解析した。そこでは、茅ヶ崎市、藤沢市等を含めた湘南都市圏、横浜市および川崎市由来のNO₂が光化学反応を経て大気汚染気塊が海風によって移流し、隣接する東京都や山梨県に高濃度O₃の発生をもたらし、光化学スモッグ注意報が発令された可能性があるとして報告している。また、季節変動を解析する際に二十四節気は、細分化した季節別解析に有用であると提言している。

このように、太陽黄経による季節別の解析は、図1のように地球における太陽の動きと密接に関わるため、大気環境の解析には有用であると思われる。また、1年間を73季に分けて気圧配置を半旬別に解析した精力的な研究例¹⁹⁾もあり、大気環境の季節別解析は多様かつ詳細に行うことで新たな知見が産み出されると考えられる。

3. 産業革命前後の大気環境の問題

ユーラシア大陸で生まれた占星術や二十四節気に対して、イギリスや日本はそれぞれユーラシア大陸の端に位置する島国で、人種も文明も言わば“掃き溜め”であると思われる²⁰⁾。ここでは、人間活動が飛躍的に便利になる傍ら、森の木が大量に消費されていった16世紀以後²¹⁾から19世紀後半までの産業革命前後のイギリスの2人の人物に注目して、大気環境の問題の原点に焦点をあてる。

3. 1. ジョン・イーヴリンの著作

ジョン・イーヴリンは1620年にロンドン近郊のサリー州で生まれた。降水としての水以外の物質に注目した記述はイギリスのイーヴリンによる『Fumifugium』（「煙の駆逐」の意味）という文献が最初であると思われる。これは石炭の燃焼から生じる硫黄化合物

による大気汚染などを扱ったもので、大気環境問題の原形をみることができる^{22, 23)}。石油や石炭はほとんど炭化水素できており燃やすと多大なエネルギーを生じるが、数%の硫黄(S)が混在するため燃焼の結果SO₂が生成され、大気汚染を発生させる。

イーヴリンは1661年に報告書『Fumifugium』を国王チャールズ2世(1630年生)に献上した。1662年にチャールズ2世が、法的な許可を与えて、科学者の集まりである「ロイヤル・ソサエティ(王立協会)」が設立された。言わば、科学という仕事が社会的に認められた最初の例である。イーヴリンはロイヤル・ソサエティの設立メンバーの一人でもあり、会長も務めた。その報告書で、石炭の煤煙によるロンドン住民への被害を訴え、工場などをロンドン市から移転するべきであるという防止対策も提言した。このなかで「石炭から出る地獄のような陰気な煙は、ロンドンをシシリー島の火山やバルカンの法廷のように覆っている」「ロンドン以外の土地では大気は澄んでいるというのに、ここでは硫黄の雲が空を覆い、太陽光線が地上に届くのを妨げている」、「教会の姿をばやけさせ、宮殿を古めかしくみせ、衣服を汚し、水を腐らせるのは、この恐るべき煤煙なのである。雨そのものでさえ、汚れた蒸気が凝結されてできるため、濡れるものすべてにシミをつけ汚してしまう」と、硫黄化合物が原因であると明言し、その被害状況を述べている。その後で雨の汚染にも触れている^{22), 23), 24)}。

3. 2. ロバート・アンガス・スミスの著作

ロバート・アンガス・スミスは1817年にスコットランドのグラスゴーで生まれた。グラスゴー大学で化学を学び、1838年にドイツのギーゼン大学で、ユストゥス・フォン・リービッヒ(1803年生)のもとで学位を取得した。リービッヒは有機化学を確立し、植物の生育に関する窒素(N)・リン(P)・カリウム(K)の三元素説を提唱し“農芸化学の父”とも称される。スミスは、ロイヤル・ソサエティの会員となり、1863年に最初の総括アルカリ監督官に任命された。スミスは1872年の著書、『Air and Rain』で、“acid rain”の語を用いたことで「酸性雨」の名付け親である。空気のN₂、O₂、CO₂以外の微量成分

を測定するのは困難であるので、次善の方法として降水を調べて空気に迫ろうとしたのである^{23), 24), 25), 26)}。

スミスはマンチェスターで、降水をよく洗った大きなミート皿で捕集し、煙の味がすることなどを報告している。誠に体当たりで男気的な仕事である。1869年には空気の健康への影響を調べる目的でガラス瓶と漏斗をイギリスの各地、イングランドの内陸、スコットランドの内陸、東海岸の沿岸域および西海岸の沿岸域に設置し降水を捕集した。これらの結果、すべての降水に硫酸 (H_2SO_4) が含まれ、その量は市街地との距離に反比例することを示した²⁵⁾。スミスは150年ほど前に、酸性のガスや降水が、金属を腐食し、建材を劣化させ、農作物に被害をもたらした事例を知っていた。だがその業績も、1970年代になって、国境を越えた酸性雨が宣伝されるまで、ほとんど忘れられていた²⁶⁾。

このように、イギリスを中心にして産業革命前後で大気環境の問題が発生した。イギリスを中心として産業革命が起こり、人間生活が飛躍的に便利になったが、エネルギー源として森を伐採し、大気が汚れてしまう問題が生じたのである。

4. 現代の大気環境の問題へ

1867～1868年の明治維新以降、南方熊楠(1867年生)が1892～1900年に、夏目漱石(1867年生)が1900～1902年にイギリスに滞在するなど、日本とイギリスの間で交流が盛んになる中、20世紀に入り1902年1月30日に日英同盟条約が調印され、即日発効された。日本では列強と結んだ初の対等な条約であった。この条約は言わば、日本の世界戦略の機軸となった。1901年、福岡県北九州市にある八幡製鐵所が操業を開始した。1923年に日英同盟が失効し、1945年8月15日に日本はポツダム宣言を受諾したことを昭和天皇(1901年4月29日生)がラジオで発表した。戦後も八幡製鐵所の“七色の煙”が福岡県民の誇りだった。しかしながら、このような煙は、前述のイーヴリンやスミスが見たらどう映り、どう考えたであろうか。

1952年12月5～10日の間、高気圧がイギリス上空を覆い、ロンドンが霧に包まれた。大気汚染物質として SO_2 が冷たい大気層に閉じ込められ、滞留し

濃縮されて高濃度の硫酸 (H_2SO_4) となった。スモッグが晴れた直後には、酸性を帯びた雨や霧に見舞われ、雨は pH が1.4～1.9というものであった。所謂、ロンドンスモッグ事件である。この事件で最初の2週間で4千人が亡くなった^{15), 24), 27)}。

1960年代の四日市ぜんそく (SO_2 等が原因)、1970年代の光化学スモッグと戦後の日本復興の背景にはこうした大気汚染の環境問題が生じた。前者は脱硫装置等で改善されたが、後者については後述する。

4. 1. 光化学スモッグ注意報

春季から夏季の大気環境において、晴天時における太陽からの強い紫外線の影響で窒素酸化物 (NO_x) 等の大気汚染物質の光化学反応が進行し、光化学スモッグが発生することがある。ちなみに、スモッグという用語は、煙 (smoke) と霧 (fog) とを合成した語である。前述のイーヴリンやスミスが関わった大気環境の問題は一次汚染物質であるが、光化学スモッグは二次的大気汚染物質であり、汚染の現象は複雑化する。

日本では、光化学大気汚染の対象物質を光化学オキシダント (O_x) としているが、 O_3 が大部分を占める。 O_x の環境基準は1973年に制定され、「1時間値が60 ppb 以下であること」とされたものが現在まで変更なく使用されている。また、行政区域ごとに濃度の時間的推移を見て発令される「光化学スモッグ注意報」の目安は120 ppb、更に警報の目安は240 ppbとされている。

4. 2. 2006年8月4日の光化学スモッグ注意報

近年、大陸からの大気汚染物質の輸送も報告され、光化学スモッグ注意報発令の地域は広範囲に渡っている。大陸からの越境汚染については、例えば2007年5月8～9日にかけて、九州から西日本の広い範囲で高濃度の O_3 が観測された。この時に光化学スモッグ注意報が発令された地域は、5月8日には福岡県、長崎県、熊本県、山口県および広島県の5県、5月9日には22都府県にのぼり、大分県と新潟県では観測史上初めて注意報が発令されている²⁸⁾。この要因としては、中国や韓国で排出された O_3 前駆物質によって生成された光化学 O_3 の越境大気汚染で

ある²⁸⁾。

2006年8月4日に、首都圏においても光化学スモッグ注意報の発令が東京都、茨城県、群馬県、埼玉県、千葉県、山梨県および栃木県と1都6県に渡った。更に光化学スモッグ注意報が首都圏に北接する福島県の浜通り（いわき市）においても発令された。苗村・渡邊²⁹⁾はこの2006年8月4日について首都圏周辺の O_3 濃度の解析を行った。都県別に見ると、東京都においては、都内で首都圏の中心部から最も遠い測定局である檜原村で最高値を示している。苗村ら³⁰⁾は、東京都内における14年間（1992～2005年）の降水中の化学成分を解析した結果、硝酸イオン(NO_3^-)の降下量が沿岸地域の江東よりも内陸に位置する山間地域の檜原や丘陵地域の多摩の方が高く、また非海塩起源の硫酸イオン(SO_4^{2-})に対する NO_3^- の当量濃度の比が高くなっていることから、大気汚染物質の輸送の可能性を指摘している。 O_3 が120 ppb（注意報発令レベル）を超過している測定局が最も多かったのは埼玉県であった。2006年8月4日においては埼玉県の57観測所の内、39観測所で O_3 の日最高値が120 ppbを越えている。近年は大陸由来の大気汚染物質も注目されるが、この日は日本海側の新潟県等で高濃度の O_3 が観測されていないことから、大陸由来の O_3 の影響はほとんどないものと考えられる。県別による最高値を記録した O_3 濃度の測定局における日中の時間変動（7～18時）を図6に示す。ここでは、千葉県、茨城県および群馬県のデータのみを示した。最初にピークに達したのは千葉県の佐倉岩富で13時に156 ppbとなった。その後の濃度は14時から急低下している。14時には埼玉県のさいたま市岩槻および茨城県の常総保健所で157 ppbに達している。埼玉県と茨城県では比較的同じ時間変動を示しており、図6の通り、茨城県と群馬県は13時までほぼ同じ時間変動を示している。15時には東京都の檜原村で150 ppbに達した。埼玉県、茨城県および東京都は14～15時にピークを迎えたが、群馬県の館林市民センターでは17時に155 ppbに達した。 O_3 濃度のピークは14～15時が多く、群馬県については千葉県や茨城県とは異なる大気汚染気塊の輸送の可能性が高い²⁹⁾。

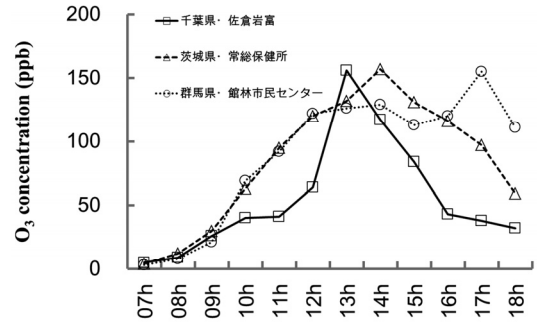


図6 2006年8月4日における千葉県、茨城県および群馬県の O_3 濃度の日中の時間変動（苗村・渡邊(2015)を簡略）

2006年8月4日15時における O_3 濃度分布を解析すると、 O_3 高濃度地域は主に2箇所あり東京都および山梨県の県境近辺と、埼玉県、茨城県および千葉県の県境近辺となっていた。また、 O_3 濃度は山梨県から東北東へ延び、福島県南東部のいわき市付近にかけてベルト状に高濃度になっていた。濃度の時間変動については、東京都の檜原、山梨県の上野原および福島県の西郷において O_3 濃度の時間推移が同じ傾向にあり、いずれも熱的低気圧が形成された周辺において O_3 が高濃度となっていた²⁹⁾。熱的低気圧とは、陸地の表面が水面よりも暖まりやすく冷めやすいために、日中は陸で上昇気流が発生して気流は上空に押し上げられ、地上付近は気圧が低下して低圧部となる気象現象である。その気象によって、この低圧部に向かって海から風が吹き込んで海陸風の原因力となり、夕方から勢力は弱まり始め、夜間消滅する。このような低気圧は夏季の本州中部などでよく発生する。

渡邊・渡邊³¹⁾によると、2006年8月2～4日までの数日間、本州は広く高気圧に覆われ、太陽による日射量が多いため、 O_3 が生成されやすく、また安定層の形成により、上空に大気が鉛直拡散しにくい等 O_3 が高濃度となりやすい状況であった。8月1～5日を通じて、東京都の大気常時監視測定局の NO_x が午前中において最も高濃度であったのは2006年8月3日6時の環七通り松原橋局の544 ppbであった。これらを含む気塊が熱的低気圧等の影響で北上し、方向を東に向け、8月4日15時頃に茨城県沖に到達していると解析されている。

Naemura *et al.*³²⁾ は、東京タワー（2章の解析と同じ場所）と福島県・南会津（北緯37.20度、東経139.78度、標高558m）とほぼ経度が同じ場所において2012年3月21日から3年間二十四節気別に O_x 濃度の季節変動を解析したところ、平均濃度はそれぞれ26.0ppb、28.1ppbであった。どちらも立夏（太陽黄経45～60度）の時期に最も高くなったが、立夏の時期の時間変動では異なる傾向がみられた。山間部の南会津では O_x 濃度が高くなる理由として、対流圏上層からの O_3 濃度の高い気団が入り込むためと考えられる³³⁾。更に、首都圏と北接する福島県中通りの阿武隈川水系源流域への大気の影響を調べたところ、森林渓流水の NO_3^- 濃度が北アルプス東麓の乳川渓流水（信濃川水系）並みに低く³⁴⁾、汚染気塊による影響が森林生態系へ出ていないと推測される。しかしながら、首都圏由来の一次汚染物質の NO_x が光化学反応を経て、大気汚染気塊として首都圏外の福島県へ輸送される実態があり²⁹⁾、³¹⁾、高濃度 O_3 現象を広範囲かつ詳細に解析するなど光化学スモッグ注意報が発令された原因を探究していくことは重要であり、二十四節気別等で大気環境のデータを解析するとより深く、考察することができる。

おわりに

天動説だった古来より太陽の見かけの運動を考慮した季節区分があり、西洋でも東洋でも占星術や農業等でわれわれの生活に長年と使われてきた。こうした季節区分が人間の自然科学や生活に影響を与えてきた人智も枚挙にいとまがない。

科学の原点は純真な好奇心にある。しかしながら、17世紀から社会との繋がりの中で科学が発展し、それと共に人間生活が豊かになる一方で、大気環境の悪化が見え隠れし始めた。時折でイーヴリンやスミスという“ヒーロー”が登場し、著作を残し、現代のわれわれの人間生活に疑問を投げかける。

2015年11月28日に戸板女子短期大学（前身の戸板裁縫学校は1902年2月創立）にて日本ハーディ協会第58回大会が開催された。その大会の講演の中で今村紅子氏による「行動するヒロインと帰郷者の誤算―牧歌的ロマンスから田園の悲劇へ、『帰郷』再読」があった。イギリスの小説家および詩人であるトマ

ス・ハーディ（1840年生）が『帰郷』を発表したのは1878年11月だが、牧歌から近代化（工業化や都市化）へと移りゆくイギリス・ヴィクトリア朝の時代背景がある²¹⁾。清らかな田舎の環境で育ったハーディは20代の首都ロンドン生活において健康を損ねた記述がある³⁵⁾。また、「煤煙が家々の暖炉の煙突から舞いおり、ぼたん雪ほどもある大きな煤のかけらをまじえた、黒い、しっとりとした霧雨になる」と太陽が消滅するのにどのくらいかかるかという終末的な未来観がハーディの中でも陰鬱なものであったと推測される³⁶⁾。イギリスの田園について「かつて豊かだった田園は、まるで死海の沿岸部のように荒涼たる光景に変わってしまった。いくら見まわしてみても、葉をつけた木は一本も見当たらない」と1862年5月12日のロンドン・タイムズ紙に記載がある²⁴⁾。また、1872年8月17日の夜にロンドンに到着した岩倉具視（1825年生）遣米欧使節団の一行も、ロンドンの大気環境には閉口した²⁶⁾。南方熊楠にとって、スモッグに全体がすっぽりと覆われてしまうことの多かったロンドンは、黒ずんだ大都市のイメージだったであろう³⁷⁾。夏目漱石の1901年1月4日の日記に「倫敦ノ町ヲ散歩シテ試ミニ啖ヲ吐キテ見ヨ 真黒ナル塊リノ出ルニ驚クベシ 何百万ノ市民ハ此煤烟ト此塵埃ヲ吸収シテ毎日彼等ノ肺臓ヲ染メツ、アルナリ」とあり³⁸⁾、夏目漱石もロンドンのスモッグに悩まされたと推測される。

今回、太陽黄経による黄道十二宮別や二十四節気別に着目して、東京、福島および釜石における NO_2 濃度の変動を解析した。結果、東京や福島において黄道十二宮で解析するとそれぞれ人馬宮、宝瓶宮の時期に最も高く、二十四節気別で解析するとそれぞれ大雪、雨水の時期に最も高かった。同じ太陽黄経による季節区分で解析を行ったが、1年を12等分および24等分した時に最も高い時期が異なった結果であった。これは、解析する時期についてまだまだ深く探究する必要があることを物語る。また、1年という単位は太陽を中心として公転する周期だが、濃度の季節変動も太陽黄経を中心として解析することがより良いと考えられる。

また、大気環境の問題として光化学スモッグに触れた。現在、日本における光化学スモッグは中国大

陸からの影響もあり、広域化の様相を呈している。しかしながら、依然として人口も一極集中化する首都圏からの影響も大きい。首都圏由来の NO_2 等の発生によって光化学反応の結果 O_3 が生成し、それらの大気汚染気塊が輸送され、東北地方の福島県まで光化学スモッグ注意報が発令する事態は重く受け止めるべきであろう。

2015年12月12日に第21回気候変動枠組条約締約国会議（COP21）において採択されたパリ協定以来、世界の潮流は脱炭素社会へ動いている。炭素を骨格とする有機物が長い間に化石燃料と化し、そのエネルギーを使用することによって寿命（滞留時間）の長い CO_2 による地球温暖化の問題に、寿命の短い SO_2 や NO_2 といった微量成分によって大気汚染の問題が生じる。石油や石炭等の化石燃料によるエネルギー依存から、太陽光や風力といった自然の力を利用したエネルギー生成へ時代を変えていくのが人類の叡智と行動である。もともと天然有機物は、太陽光エネルギーを利用した光合成というメカニズムの産物である。日本も本当の“掃き溜め”にならないよう、再生可能エネルギーの導入量が発電量に対して占める割合が約13%（2014年）³⁹⁾とドイツ等から遅れている状況から、再生可能エネルギーへの転換へ押し進めていくべきである。化石燃料や原子力のように大気汚染や排熱に伴う熱汚染などを出さない“クリーンエネルギー”（太陽光エネルギー、海洋エネルギーおよび地熱エネルギーなど）は、環境汚染を軽減する¹⁵⁾。われわれは誰もが「宇宙船地球号」に住んでいるという自覚が必要であろう⁴⁰⁾。

参考文献

- 1) 秋元肇（2014）越境大気汚染・酸性雨への先行的取り組みとオゾン・ $\text{PM}_{2.5}$ などへの最近の展開, 環境情報科学, 42, 22-27.
- 2) 松浦和也（2012）アリストテレス『自然学』第3巻第5章の物体概念, *Studia Classica*, 3, 91-99.
- 3) 矢野道雄（2004）星占いの文化交流史, 214pp, 勁草書房.
- 4) Lindberg, D.C.（高橋憲一訳）（2011）近代科学の源をたどる－先史時代から中世まで, 460pp, 朝倉書店.
- 5) 吉野正敏・福岡義隆（編）（2003）環境気候学, 392pp, 東京大学出版会.
- 6) 福岡義隆（2015）地理学としての気候学を考える, 季刊地理学, 67, 196-199.
- 7) 藤原千恵子（2010）図説浮世絵に見る日本の二十四節気, 127pp, 河出書房新社.
- 8) 大喜多敏一・太田幸雄・福井正和・矢田部秀夫・明井隆生・片山靖之（1983）トリエタノールアミン塗付濾紙による大気中 NO_2 濃度測定, 北海道大学工学部研究報告, 113, 107-112.
- 9) 苗村晶彦・中根周歩・福岡義隆（1993）大気汚染と森林被害 I. NO_2 簡易測定法の検討, 第40回日本生態学会大会講演要旨集, 184.
- 10) 苗村晶彦・渡邊善之（2016）東京タワーにおける季節別の夜間高 NO_2 濃度とポテンシャルオゾン濃度との関係, 日本生気象学会雑誌, 53, 39-44.
- 11) 苗村晶彦・渡邊善之（2015）神奈川県茅ヶ崎市における二十四節気別の NO_2 濃度, 戸板女子短期大学研究年報, 58, 33-37.
- 12) 苗村晶彦・渡邊善之（2016）横浜市大岡川流域における NO_2 濃度の季節変動とその影響について, 戸板女子短期大学研究年報, 59, 27-33.
- 13) Naemura, A., Tsuchiya, A., Fukuoka, Y., Nakane, K., Sakugawa, H. and Takahashi, H. (1996) Climatic inversion layer and atmospheric NO_x concentration on the slope of forest decline area in the Seto Inland Sea District, *Japanese Journal of Biometeorology*, 33, 131-136.
- 14) 福岡義隆（1974）盆地都市の気候と大気汚染（第1報）－福島市の場合（その1）, 東北地理, 36, 130-136.
- 15) 福岡義隆（1992）新版図説環境地理－地球環境時代の地理学, 197pp, 古今書院.
- 16) 若松伸司（2001）都市・広域大気汚染の生成機構解明に関する研究, 大気環境学会誌, 36, 125-136.
- 17) 原宏（2002）酸性雨とフィールドサイエンス（I）湿性沈着の現状と科学としての発展, フィールドサイエンス, 1, 1-13.

- 18) 中西準子・篠崎裕哉・井上和也 (2009) オゾン-光化学オキシダント, 289pp, 丸善株式会社.
- 19) 吉野正敏・福岡義隆 (1967) 半旬別の気圧配置ごよみ, 天気, 14, 250-255.
- 20) 苗村光彦, 私信.
- 21) 山森芳郎 (2007) キーワードで読むイギリスの田園風景, 302pp, 柊風舎.
- 22) 原宏 (2009) 酸性雨研究の里程標, 大気環境学会誌, 44, 355-356.
- 23) 不破敬一郎・森田昌敏 (編) (2002) 地球環境ハンドブック (第2版), 1129pp, 朝倉書店.
- 24) 石弘之 (1992) 酸性雨, 242pp, 岩波新書.
- 25) 原宏 (1999) Robert Angus Smith と酸性雨研究, 環境技術, 28, 774-778.
- 26) 藤田慎一 (2012) 酸性雨から越境大気汚染へ, 146pp, 成山堂.
- 27) 饒村曜 (2013) 最新図解 PM_{2.5} と大気汚染がわかる本, 166pp, オーム社.
- 28) 大原利眞・鶴野伊津志・黒川純一・早崎将光・清水厚 (2008) 2007年5月8、9日に発生した広域的な光化学オゾン汚染-オーバービュー-, 大気環境学会誌, 43, 198-208.
- 29) 苗村晶彦・渡邊善之 (2015) 2006年8月4日の首都圏周辺の高濃度オゾンの出現, 自然環境科学研究, 28, 5-9.
- 30) 苗村晶彦・渡邊善之・吉川尚志 (2014) 東京都内における湿性沈着の経年変化, 自然環境科学研究, 27, 23-30.
- 31) 渡邊善之・渡邊明 (2012) 福島県海岸域における高濃度オゾンの出現, 大気環境学会誌, 47, 145-154.
- 32) Naemura, A., Nakamura, K. and Fukuoka, Y. (2017) Oxidant concentration by the solar term in Minami-Aizu mountainous region, Fukushima Prefecture, Japan, Symposium on Atmospheric Chemistry & Physics at Mountain Sites, Abstracts, pp.61.
http://npofuji3776.net/document/ACPM2017/ACPM2017_Abstract-Book_ver.2_20171030.pdf
<http://npofuji3776.net/document/>
- 33) 溝口次夫・光本茂記・西川雅高 (1989) 日本列島を覆う対流圏オゾンの動態に関する研究, 環境科学会誌, 2, 87-99.
- 34) 苗村晶彦・渡邊善之・小柳信宏・楊宗興・渡辺幸一 (2017) 福島県中通りにおける阿武隈川水系源流域の渓流水質, 土木学会論文集 G (環境), 73, 172-176.
- 35) 井出弘之・清水伊津代・永松京子・並木幸充 (2011) トマス・ハーディ全集16 トマス・ハーディの生涯, 561pp, 大阪教育図書.
- 36) パトリシャ・インガム (鮎澤乗光訳) (2012) 時代のなかの作家たち3 トマス・ハーディ, 436pp, 彩流社.
- 37) 牧田健史 (1993) ロンドン. In 松居竜五・月川和雄・中瀬喜陽・桐本東太 (編) 南方熊楠を知る辞典, 653pp, 講談社. 113-117.
- 38) 出口保夫 (2006) 漱石と不愉快なロンドン, 304pp, 柏書房.
- 39) 環境省 (2017) 平成29年版環境・循環型社会・生物多様性白書
<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h29/html/hj17010303.html>
- 40) 福岡義隆 (1992) 人間的尺度の地球環境, 156pp, 古今書院.