

17世紀のオランダ風景画にみる気候変動の影響

西崎紀衣

はじめに

豊田市美術館では2011年に、シュテデル美術館（フランクフルト市、ドイツ）のコレクション95点による展覧会¹を開催した。凡そ豊田市美術館では19世紀末から現代までの作家を扱うことが多いため、17世紀オランダ・フランドル絵画について改めて考える機会を得たことになる。17世紀オランダ・フランドル絵画が取り上げられる場合、風景画や風俗画（室内画）は欠くべからざるジャンルである。この時代を扱った展覧会や書籍に取り上げられる作品には「冬景色」を描いたものが何点かは含まれており、また確固とした季節の同定は困難である場合でも、田園風景や家並みの上方、肖像画の背景に曇天―全天を覆い隠すような高層雲、乱層雲や層積雲^{表1}が重く垂れこめた空―が描かれていることは珍しいことではない。因みに今回シュテデル美術館から貸し出された風景画37点中、曇天もしくは雲が空の50%以上を覆うように描かれている作品は27点である。制作者は20人を超えており、当然ながら一部の嗜好による内容偏向ではない。制作者や描かれている様々なモチーフについて、かなり具体的な内容が語られることは多い。しかし画中でかなりの存在感を持って描かれている空については、空気遠近法の使用について触れられている程度であり、気象ましてや雲の姿形について記しているものは、管見ながらあまり見当たらないように思われる。風景画における「写実性」の意味や、雲が疑似科学的な「演出」の類²であるとの考察等、地上にかかる「天蓋」の描写と実際の気候とのかかわりは検討課題も多く、容易に断じることはできないことは確かである。しかし他方、当時の風景画が写実性の高い描写であるがゆえに、気象、宇宙線、太陽物理等の研究者から注目され、気候大変動と寒冷化を視覚認識するための証として取り上げられていることも事実である。そこで17世紀の風景画に見られる気象と、作品が描かれた時代の気候変動とその要因について、概観したい。

オランダ風景画の成立と特徴

17世紀のオランダ絵画が黄金期とされる理由のひとつに、聖書や古典を主題にした作品の背景、場面設定といった副次的な扱いから独立して、風景画が一ジャンルとして確立されたことがあげられる。日常の風景、母国・故郷の姿を写実的な描写で表していることが特徴といえよう。16世紀から続く独立戦争を経て、スペインから独立を果たしたオランダ人は郷土の風景を自宅に飾ることを好んだとされる。1650年中ごろのオランダでは、従来最も重要視されてきた寓意画・歴史画の発注数を上回るほどに、風景画は最も重要なジャンルとなった。17世紀のオランダで制作された絵画の総数は700万-1400万点といわれ、さらに17世紀半ばにオランダで流通した絵画の少なくとも30%は風景画であったといわれる³。また地誌への高い関心はジャンルごとに得意分野を持つ画家たちに、「田園風景」^{図1}、「海景」^{図2}、「夜景」、「冬景

層	名称	よく現れる高さの説明
上層	巻雲	極地方 3~8km
	巻積雲	温帯地方 5~13km
	巻層雲	熱帯地方 6~18km
中層	高積雲	極地方 2~4km
	層積雲	温帯地方 2~7km
	乱層雲	熱帯地方 2~8km
下層	層積雲	極地方 地表付近~2km
	層雲	温帯地方 地表付近~2km
	積雲	熱帯地方 地表付近~2km
乱層雲	積雲、積乱雲	雲底は一般には下層にあるが、雲頂は中層から上層にまで達していることが多い。

表1 雲の分類表（気象庁『雲の観測（地上気象観測別冊）』1989年参考）



図1 ヨハネス・ビーテルスゾーン・スフッフ
《休息する旅人たちのいる夕暮れの川の風景》
1648年頃 シュテデル美術館蔵



図2 ヤン・ファン・ホイエン
《ハールレムの海》1656年
シュテデル美術館蔵



図3 ピーテル・ブリューゲル
《雪中の狩人》 1565年
ウィーン美術史美術館蔵



図4 ルーカス・ファン・ファルケンボルヒ
《凍ったスヘルデ川とアントワープの景観》 1593年
シュテデル美術館蔵



図5 ヘンドリック・アーフェルカンブ
《冬景色》 1605年
ウィーン美術史美術館蔵



図6 アールト・ファン・デ・カッペレ
《冬景色》 1650-55年頃
アムステルダム国立美術館蔵

色」等、画題の細分化および専門化に更に拍車をかけたといえる⁴。オランダは国土の約25%が海拔0m以下であり、最高地点でも海拔322.5mの平坦な土地であるため、その風景表現は、低く定められた地平線（時として水平線）の上に、空が高く広がっているのが特徴である。そしてしばしば画面に大きく広がる空には印象的な雲影が描かれている。中でも褐色や暗緑黄色等、限られた彩色を用いた「単色画」による、大空に広がる存在感のある積雲や高積雲、真っ暗な雲間から大地に向かって差し込む光芒、雲が落とす陰影に富む大地の描写は、オランダの風景・気候を活写するに理想的な表現ともいわれる⁵。

主に17世紀に描かれたオランダの風景画に着目した理由としては、それらが地誌に沿った写実的描写を特徴として大量に描かれたことが挙げられる。一方、16世紀に重きを置かなかった理由として、16世紀後半においてはまだ風景は理想的に、ある種空想的に描かれる傾向にあることが主であるが、気候や気象に対する認識が16世紀と17世紀で異なる点も大きい。ただし例外も存在する。気候学や気象学研究の大勢では、16世紀は中世的な見方に未だ支配されていた時代としてとらえられている。ルネサンスに続く大航海時代の幕開けにより、次々と地理的発見がなされ、メルカトル（Gerardus Mercator）が世界地図や地球儀を、ホンディウス（Jodocus Hondius）が天球儀を製作するなどしたが、学問体系は未完であり古代ギリシアの延長上と見なされている。しかし1650年には当時のヨーロッパ人の地誌観の集大成ともいえる『一般地理学書』（Geographia Generalis）を、ヴァレニウス（Bernhardus Varenius）がアムステルダムで出版するまでにいたる⁶。また17世紀は計器による観測が始まった時代でもある。1620年にアルコール温度計、1643年に水銀温度計と気圧計が発明され、17世紀半ばにはヨーロッパ各地で、各自国内ではあるが、複数地点による気象観測網が生まれている。長期の観測としてはケプラー（Johannes Kepler）の約30年間（1598年-1629年）に渡る気象観測があげられよう。ケプラーは1630年に観測結果を『エフェメリデス』（Ephemerides novae motuum coelestium）に発表している⁷。また18世紀以降は産業革命に代表される、公害のような人為起源の強制による地球規模の気候システムに反応する芸術家から応答が強調される側面が色濃くなり、空や雲の描写と作品との関連性が曖昧となると考え対象から割愛した。

曇天。冬景色 — 気候変動の影響をみる

「冬景色」と聞き、まずはピーテル・ブリューゲル（Pieter Bruegel de Oude）による《雪中の狩人》（1565年）⁸³や《鳥わなのある冬景色》（1565年）を想起することは、想像に難くない。しかしルーカス・ファン・ファルケンボルヒ（Lucas van Valckenborch）の《凍ったスヘルデ川とアントワープの景観》（1593年）⁸⁴にも見られるように冬景色を描いている画家は多い。ちなみニューヨーク市立大学シティカレッジのゲゼルマン（Stanley David Gedzelman）は、著名でない画家の一人と前置きを

しつつ、気象学的に正確に天気を描く最たる画家の一人として、ファルケンボルヒを挙げており、『凍ったスヘルデ川とアントワープの景観』に描かれた変哲のない高積雲は、左上に見える冬の嵐を起こす高層雲の端がちぎれてできたことを示すとしている⁸。凍る川や運河とその上でスケートをする光景は、先にあげたファルケンボルヒと以外にヘンドリック・アーフェルカンプ(Hendrick Avercamp)⁹、ヤン・ファン・デ・カッペレ(Jan van de Cappelle)¹⁰、アールト・ファン・デル・ネール(Aert van der Neer)¹¹ほか多くの画家の作品(図8、図9)にも見られるし、水彩、版画の類まで範囲を拡大すればさらに該当例は多くなるであろう。凍結を左右するのは水面温度であり、通常は気温よりも低くなるため、気温が氷点下になるよりも早く初氷が訪れる。流れのない湖や池などの場合、水面の温度が0℃以下になることが必須条件であり、-10℃前後になれば例外なく凍結する。しかし現代の常識で考えれば、北極や南極以外で、流れる水が凍りつくことはかなりの寒冷地でもニュースとして紹介される異常事態である。しかし作品名の多くは「冬景色」「冬の川」等、まったく日常的な一場面として描かれ、「氷上の遊び」や「スケート遊び」にいたっては凍りついた水面よりも人々の行為を描くことに対して作者の意図は向けられていることがわかる。重く雲が垂れこめた空と寒々とした大地、そして厚く凍りついた水面は当代の人々にとって、日常的なものであった。

スケートする人々のいる凍った河や運河の一見楽しげな場面だけではなく、陰鬱な印象の冬景色も多く描かれている。滝を描いた油彩150点の作品群には劣るものの、ヤーコプ・ファン・ロイスダール(Jacob van Ruisdael)の全作品のなかで、現在確認される「冬景色」¹²の約30点は比較的主要な群を形成している⁹。この傾向は16世紀後半から19世紀前半に描かれた作品に顕著に見られる。ペンシルバニア州立大学のニューベルガー(Hans Neuberger)は、欧米の41の美術館が所蔵する作品のうち、1400年から1967年の間に描かれた12,000点以上の作品を対象に天候を定量的に調査し、1550年から1849年の間に描かれた空は曇天でかつ暗い描写の傾向があることを発見した¹⁰。そしてさらに加えるならば曇りの程度も、薄曇り、曇り、本曇り、高曇り¹¹と細かく描き分けられていることがわかる。地球科学ドイツ研究センターのオッシング(Franz Ossing)は、今日よりもかなり気候が寒冷であろうとも雲の形成パターンは変わらないため、当時の画家たちは現在と同様の雲を見ていたと述べている¹²。

寒冷化の理由

14世紀までの温暖な気候(中世温暖期)に対して、気候変動により14世紀から19世紀の前半までの約500年間の寒冷化した時代を小氷期と呼ぶ。特に17世紀は小氷期の中でも最も寒いといわれる期間にあたっている。16世紀末からアルプスの氷河は前進し続け、時として町や村を飲み込み、16世紀の後半からは、冬の低気圧活動は85%増えたとされ、ヨーロッパでは冷夏と寒波により気温は低くなり荒天が続いた。



図7 アールト・ファン・デル・ネール
《冬の川》 1655-60年頃
アムステルダム国立美術館蔵



図8 ヤン・ファン・ホイエン
《スケートをする人々》 1625年頃
フランス・ハルス美術館蔵



図9 イサーク・ファン・オスターデ
《冬景色》 1644年
フランス・ハルス美術館蔵



図10 ヤーコブ・ファン・ロイスダール
《雪を被った木々のある冬の風景》
1678-80年頃 シュテッデル美術館蔵

例えば、独立戦争が始まって間もない1570年に北海沿岸部を襲った「諸聖人の洪水 (Allerheiligenvloed)」では暴風雨が堤防を破壊し、ロッテルダムの大半が水没、アムステルダムやドルトレヒトも水没するなど10万人以上が溺死している。天候不順と寒冷化により、農作物も収穫の遅れや不作が顕著になり、海水温の低下は不漁を招き、飢饉と疫病が蔓延するようになる¹³。また17世紀は大規模な火山の噴火が起きた。1599年に起きたペルー南部のワイナブチナ火山の大爆発により、17世紀は北半球全域がかつてない冷夏となり、スカンジナビアでは太陽が見えず、アイスランドでは影もできないような薄日が差すのみとなったといわれる¹⁴。以降もヴェスヴィオ火山(1631年、イタリア)、ウラン火山(1638年、インドネシア)、パーカー火山(1641年、フィリピンのミンダナオ島)、エトナ火山(1669年、イタリア)、メラピ火山(1672年、インドネシア)、コトパクス火山(1698年、エクアドル) 他が噴火し、これに加えて、日本でも駒ヶ岳(1640年、1694年)、有珠山(1663年)、樽前山(1667年)が噴火している。近年では国立アテネ天文台の研究グループも、オランダの絵画に限ってはいないが、16世紀-19世紀に描かれた風景画から火山活動による大気変動の徴候を見分ける方法を提示している¹⁵。しかし噴火によって噴出した微粒子が成層圏まで吹き上げられ太陽光線を遮り、地球環境の広範囲に甚大な影響をもたらすことは確かであるが、長期にわたる寒冷化、「氷河期」をもたらすほどの強大な影響力はないとされる¹⁶。

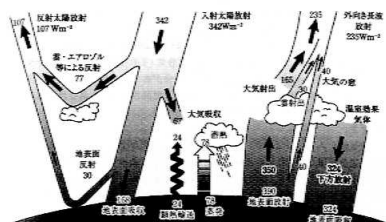


表2 全球平均した地球のエネルギー収支と大気の温室効果【柴田一成、上出洋介編『総説 宇宙天気』京都大学学術出版会、2011年、473頁より転載】

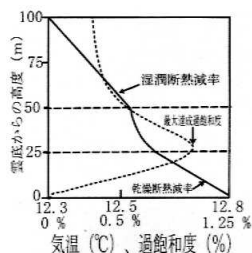


表3 理論的に求めた雲底付近の気温と過飽和度の高度変化【藤吉康志「雲のできるまで」(日本気象学会北海道支部夏季大学気象講座「新しい気象」テキスト)、2006年より転載】

*雲底の高度(飽和空気境)が上昇する程、湿潤断熱減率も上がり、温度が下がることがわかる。

たしかに積雪、川や運河の凍結の描写は、万人に寒冷化した冬の視覚的イメージを伝えることは確実である。では「冬」以外の具体的描写では何が小氷期の様相を伝えるのであろうか。それは天空をうめる雲の存在である。地球表面が雲でどれだけ覆われているか(平均雲量)によって地球表面が吸収する太陽放射エネルギーと地球大気系から宇宙に向かって放射される赤外放射エネルギーは変化する。太陽放射(342W/m^2)は地球の大気を透過するため、地表に到達し吸収されるのは平均して約半分のエネルギーである。雲や大気中の微粒子(エアロゾル)による反射により、その半分弱のエネルギー(77W/m^2)は地表に到達しない^{表2}。また地表面における通常の太陽放射エネルギーの反射率は30%だが、地表面が雪氷に覆われていた場合は80%に達し、雪氷面積が増えるほどに、寒冷化が加速されると考えられる。地表から放射される赤外放射の大部分は大気に吸収される¹⁷。また雲の赤外線エネルギーは、雲の表面温度に依存するため、雲の位置が高いほど、その単位面積当たりの放射率は低くなる^{表3}。よって雲量が多く背の低い雲ほど地球を寒冷化させ、雲量が少なく背の高い雲ほど地球を温暖化する効果を持つ¹⁸。「背の低い雲(下層雲)」が生じる原因を論じるにおいて、まだ議論がなされているところではあるが、デンマーク国立宇宙センターのスベンマルク(Henrik Svensmark)により、曇りがちの天候と太陽黒点周期に関連して、宇宙線の増加により生じる雲の凝結促進と間接的な影響関係が存在することが指摘され¹⁹、太陽活動の衰退と太陽黒点の喪失時期の相関関係^{表4}があげられている。1610年にガリレイ(Galileo Galilei)によってはじめて観測されて以降、

太陽黒点が著しく消失した1645年から1715年の間^{※5}は、小氷期中最も厳しい寒さとなったとされる17世紀半ばから18世紀初頭と合致しており、中でも1683年から1684年にかけての冬は特に寒く、イギリス南東部・フランス北部海岸に海水帯が出現し、オランダの沖合30-40kmに氷が見え、北海全域が航行停止となった。またロンドンのテムズ川は馬車が走ることができるほど凍結し、屋台が並ぶ氷原と化したといわれる²⁰。黒点数の変動は太陽内部の活動の現れであり、太陽から放出される電波や紫外線、X線、 γ 線または粒子流(太陽風など)まで、すべてに関連している。また現在では、太陽活動と雲塊発生のリズムは、東京大学宇宙線研究所の宮原ひろ子らによる屋久杉に含まれる炭素同位体 ^{14}C の分析および氷床コアに含まれるベリリウム同位体 ^{10}Be の分析により、その関連性が一段と高まっていることも付け加えたい²¹。樹木の年輪や氷床コアの各層の同位体の含有量を分析し、各時代の宇宙線量を見積もることで、過去1000年の太陽活動の変動を復元することが可能になる。この変動は黒点数の変動と、温暖期や寒冷期(小氷期)の気候変動と対比することが可能である。

まとめ

17世紀に描かれた風景画を語るとき、いわば制作者が抱く宇宙像のカンヴァスへの発露としてとらえ、卓越した技巧描写を称え、モチーフの歴史的意義や時としてその寓意性について触れられることは周知の事実である。しかし同時に教会や役所の記録、旅行記等の記述にたよるしかなかった時代に、自然界の真相を探る有効な伝手として、他分野から風景画が注目を得ていることは、興味深い事実であるとともに、オランダの風景・気候のたしかな活写に制作者たちが成功していた証しともいえる。パールのような巻層雲や低空の層積雲の隙間から差し込む薄暗い光芒や反薄明光線が、雲塊の輪郭を明快にし、大気中に水平に並んだ板状の氷晶に反射する太陽柱(月光柱)がいろいろとなるような冬の嵐の接近を強く示す空の描写だけではない。地平線や水平線から画面上方に大きく広がる空全体に、層積雲の雲片が強風により切り離されたレンズ雲や、暖気と寒気がぶつかることで雲頂が垂直方向に著しく発達した雲^{※11}が描かれることも多い。このような鬱勃たる姿形の雲はオランダのような平坦な地形では発生しづらいと考える向きもあるが、冬の低気圧の活発化や大嵐の発生率の増加など当時の気象状況を鑑みれば、いたって自然である。また水と大気の色調の究極の調和、絶妙の光の扱いと絶賛されるフェルメール(Johannes Vermeer)の《デルフト風景》(1660-61年頃)^{※12}に描かれた存在感のある白色と灰色の雲は、地上にもっとも近いところに発生する長い波状の層積雲(波状雲)である。この作品の大胆で力強い印象がこの雄大な雲に負うところは大きい。画面前景に描かれた人物との対比で改めてその大きさに驚かされるとともに、空低く大きな波が押し寄せるように到来する波状雲の特徴がよく表れている。画中に影をともなった歴史的建造物が描きこまれることで、太陽の位置や場合によっては時間す

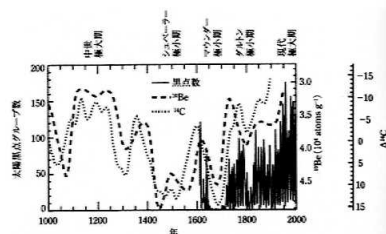


表4 過去400年の平均した太陽黒点のグループ数の変動(実線)、および樹木の年輪や氷床コアに残された宇宙線起源の同位体過去1000年の変動[柴田一成、上出洋介編『総説 宇宙天気』京都市大学術出版会、2011年、482頁より転載]

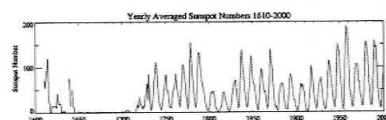


表5 黒点の年間平均数 [Source https://science.nasa.gov/sslpadsolarimagessn_yearly.jpg]

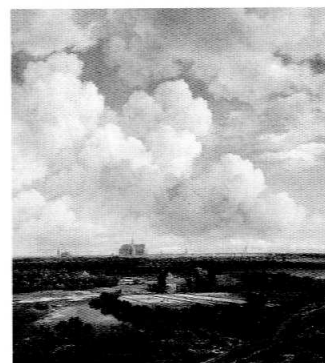


図11 ヤーコブ・ファン・ロイスダール《ハールレムの眺望—布をさらす人たち》1670-75年頃 チューリヒ美術館蔵



図12 ヨハネス・フェルメール《デルフト風景》1660-61年頃 マウリッツハイス美術館蔵

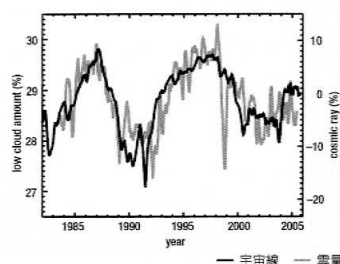


表6 〔宮原ひろこ「中世の温暖期と近世の小氷期における太陽活動と気候変動—樹木年輪中の炭素同位体の分析から」(気象予報士会東京支部第41回例会講演資料)、2009www.yoho.jp/shibu/tokyo/41miyahara.pdfより転載〕

らもデータとして把握でき、当時の記録文書と併せて検討することで、さらに詳細な気象を見出すことも可能となるのである。小氷期の中でも寒冷化がもっとも激しかった17世紀において、卓越した技術に裏づけされた写実表現を特徴とする作品が、限られた時期と地域に集中的に大量生産されるという、オランダ風景画の置かれた特殊な位置が、サンプル採取対象として適合した点も重要な点であったといえよう。

太陽の黒点のことを英語で a sun spot [=a spot on the sun] という。転じて「玉に瑕 (There are spots even on the sun.=太陽にさえ黒点がある)」の意で用いられる。17世紀を代表する科学者ガリレイは地動説の信奉によってではなく、手製の望遠鏡で黒い染みを太陽に、また痘痕を月面に見出したゆえに、つまりは神聖にして犯すべからざる調和が保たれた天空に、不調和を認めたため罰せられたとされる。しかし気候変動の影響がみられる17世紀のオランダ風景画が、この時代に初めて確認された太陽の黒点の有無と太陽活動に連動するという可能性⁶⁵の指摘は、絶妙なる偶然とするに止まらない、さらに深い検討に値する豊かな内容を備えている。たしかに今回のような例が、常にすべての芸術分野と別分野の間に生じるとは言い難いが、多様な分野間の相互補完的な、いわば逆引きとも言い得る研究が今後も拡大していくことにより、新たな視点からの考察が展開されていくことを期待したい。

¹「シュテデル美術館所蔵 フェルメール《地理学者》とオランダ・フランドル絵画展」、Bunkamura ザ・ミュージアム (2011年3月3日-5月22日)、豊田市美術館 (2011年6月11日-8月28日) に巡回。

²ユベール・ダミッシュ『雲の理論 絵画史への試論』法政大学出版局、2008年、244頁。

³ハイエン・レーフラング「絵は詩のごとくにあらず—17世紀オランダ美術における主題としての風景」『アムステルダム国立美術館所蔵 17世紀オランダ美術展 レンブラント、フェルメールとその時代』カタログ、愛知県美術館、国立西洋美術館、2000年、40頁。

⁴風景画家ヤン・ファン・ホイエンの現存する2000点の作品のうち、神話や古典等に主題が由来する作品はない。同上、2000年、41頁。

⁵同上、2000年、90頁。

⁶吉野正敏『気候学の歴史』古今書院、2007年、21-22頁。

⁷同上、2007年、23-24頁。

⁸Stanley David Gedzelman, 'The Substance of Air: Hidden Meanings and Power, *The Soul of All Scenery: A History of the Sky in Art*, 1993. <http://www.sci.cuny.cuny.edu/~stan/skyart.html>

⁹「シュテデル美術館所蔵 フェルメール《地理学者》とオランダ・フランドル絵画展」カタログ、2011年、190頁。

¹⁰Graeme L. Stephens, 'The useful pursuit of shadow: The study of clouds has profoundly influenced science and human culture and

stands poised to lead climate science forward again, *American Scientist*, Vol.91, No.5, 2003, p.449.

¹¹上層雲(巻雲、巻積雲または巻層雲)の占める割合が、「中層雲+下層雲」より多い場合は「薄曇り」、「中層雲+下層雲」が占める割合が上層雲より多い場合を「曇り」として区別する。また、下層雲の占める割合が「上層雲+中層雲」より多い場合は「本曇り」、中層雲の占める割合が他の雲量より多い場合を「高曇り」と呼ぶこともある。

¹²Franz Ossing, 'Haarlem's Crown of Clouds -Meteorology in the paintings of Jacob van Ruisdael: Presented at the convention "Air", 'Art and Exhibition Hall of the Federal Republic of Germany, Bonn, 2002. http://edoc.gfz-potsdam.de/gfz/get/8623/0/b9ce59c524d1a2431d8d1dfd25d60e7a/haarlem_ruisdael.pdf

¹³Brian Fagan, *The little ice age: How climate made history, 1300-1850*, Basic Books, New York, 2000. [ブライアン・フェイガン『歴史を変えた気候大変動』東郷えりか、桃井緑美子訳、河出書房新社、2001年、176-177頁]

¹⁴同上訳書、2001年、196頁。

¹⁵C. S. Zerefos, V. T. Gerogiannis, D. Balis, S. C. Zerefos, and A. Kazantzidis, 'Atmospheric effects of volcanic eruptions as seen by famous artists and depicted in their paintings, *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol.7,

No.15, 2007, pp.4027-4042.

¹⁶R. P. Turco, O. B. Toon, T. P. Ackerman, J. B. Pollack and Carl Sagan, 'Global Atmospheric Consequences of Nuclear War, *The cold and the dark: The world after Nuclear War*, W. W. Norton & Co Inc, New York, 1984. [カール・セーガン『核の冬 第三次世界大戦後の世界』野本陽代訳、光文社、1985年、55-56頁]

¹⁷柴田一成、上出洋介編『総説 宇宙天気』京都大学学術出版会、2011年、472頁。

¹⁸藤吉康志「雲のできるまで」(日本気象学会北海道支部夏季大学気象講座「新しい気象」テキスト)、2006年 stellar.lowtem.hokudai.ac.jp/research/papers/06summer.pdf.

¹⁹Henrik Svensmark, 'Influence of cosmic rays on earth's climate, ' *Physical Review Letters*, Vol.81, 1998, pp.5027-5030.

Henrik Svensmark and Nigel Calder, *The chilling stars: A new theory of climate change*, Totem Books, London, 2007. [ヘンリック・スベンマルク、ナイジェル・コールダー『「不機嫌な太陽」—気候変動のもうひとつのシナリオ』桜井邦朋監修、青山洋訳、恒星社厚生閣、2010年]

²⁰ブライアン・フェイガン、前掲訳書、2001年、212-215頁。

²¹宮原ひろ子「宇宙線が気候変動に与える影響を探る」『ICRRニュース』第72号、2010年、7-11頁。