

## 2.2 日本におけるエアロゾル<sup>15</sup>と地上放射の変動

- 1960年以降の日本における大気混濁係数のバックグラウンド値は、大規模な火山噴火によるエアロゾルの影響で成層圏大気が混濁したことにより、1990年代初めまでに数回の極大を示し、2023年現在までに1963年のアグン火山噴火以前のレベルに戻っている。
- 2023年の黄砂観測日数は14日、黄砂観測のべ日数は40日だった。

### 2.2.1 エアロゾル

国内の直達日射量<sup>16</sup>観測により得られる大気混濁係数<sup>17</sup>から対流圏の変動を除いたバックグラウンド値の1960年以降の経年変化を見ると、火山噴火による成層圏エアロゾルの影響が明瞭に確認できる(図2.2-1)。1963年から数年継続しているやや高い値、1982～1983年と1991～1993年にみられる極大は、それぞれ1963年2～5月のアグン火山噴火(インドネシア)、1982年3～4月のエルチチオン火山噴火(メキシコ)、1991年6月のピナトゥボ火山噴火(フィリピン)によって二酸化硫黄等の火山ガスが成層圏に大量に注入され、成層圏が長期間にわたって混濁した結果である。ピナトゥボ火山噴火以降は、日本における大気混濁係数はアグン火山噴火前のレベルまで戻っている。

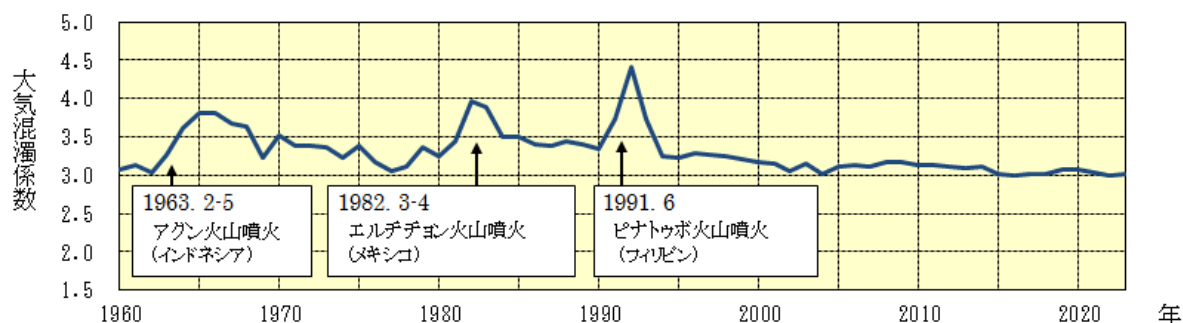


図 2.2-1 バックグラウンド大気混濁係数の経年変化(1960～2023年)

大気混濁係数に含まれる水蒸気や黄砂、大気汚染エアロゾル等対流圏の変動による影響を除くため、大気混濁係数の月最小値を用いて国内5地点(網走、つくば、福岡、石垣島、南鳥島、ただし2020年までは網走ではなく札幌の観測値を使用)の平均値を求め、年平均値を算出している。矢印は大規模な火山噴火が発生した時期を示す。

### 2.2.2 黄砂

大陸より日本へ飛来する黄砂もエアロゾルの一種である。気象庁では、国内11地点(2023年12月31日現在)の気象台で、職員が目視により大気中に黄砂粒子が浮遊していると判断した場合に「黄砂」として記録している。2023年の黄砂観測日数(上記気象台のいずれかで黄砂現象を観測した日数。同じ日に何地点で観測しても1日として数える。)は14日(図2.2-2)、黄砂観測のべ日数(上記気象台のそれぞれで黄砂現象を観測した日数の合計。同じ日に例えば5地点で黄砂が観測さ

<sup>15</sup> 「エアロゾル」については巻末の用語一覧を参照。気象庁ホームページでは、エアロゾルや黄砂に関する情報を公表している。

<https://www.data.jma.go.jp/env/kosahp/aerosol.html> (黄砂・エアロゾル)

<https://www.data.jma.go.jp/env/kosa/fcst/fcst-s.jp.html> (黄砂情報)

<sup>16</sup> 直達日射量とは、太陽から地表面に直接入射するエネルギーである。直達日射量からは大気の濁り具合に関する指標であるホイスナー・デュボアの混濁係数(大気混濁係数)を算出することができる。

<sup>17</sup> 大気混濁係数は、エアロゾルのほか、水蒸気、オゾン、二酸化炭素等の日射の散乱・吸収に寄与する種々の物質を含む現実の大気の光学的厚さ(日射に対する大気の不透明さ、濁り具合)が、酸素や窒素などの空気分子以外の物質が存在しないと仮定した大気的光学的厚さの何倍であるかを表し、値が大きいほど大気を濁す物質が多いことを示す。

れた場合には5日として数える。)は40日(図2.2-3)であった。1967~2023年の統計期間では黄砂観測日数及び黄砂観測のべ日数とも年々の変動が大きく、有意な変化傾向は見られない<sup>18</sup>。

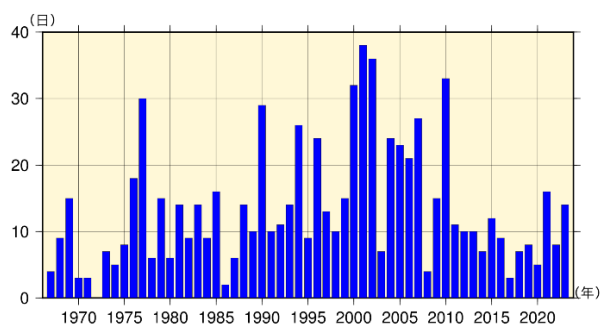


図 2.2-2 日本における年別の黄砂観測日数 (1967~2023年、現在(2023年12月31日)まで観測を継続している国内11地点)

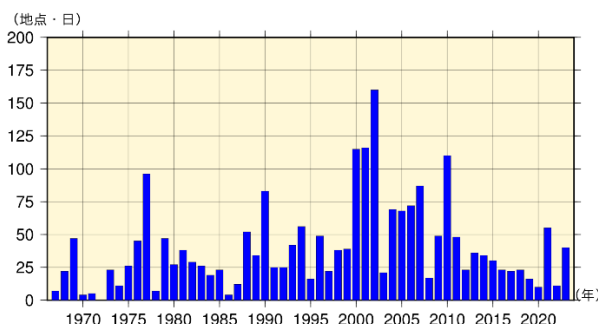


図 2.2-3 日本における年別の黄砂観測のべ日数 (1967~2023年、現在(2023年12月31日)まで観測を継続している国内11地点)

### 2.2.3 日射と赤外放射

地球における放射収支の変化は気候変動をもたらすため、その変化を監視することは重要である。気象庁では、直達日射、散乱日射及び下向き赤外放射<sup>19</sup>の観測を国内5地点(網走・つくば・福岡・石垣島・南鳥島)で行っている(図2.2-4)。

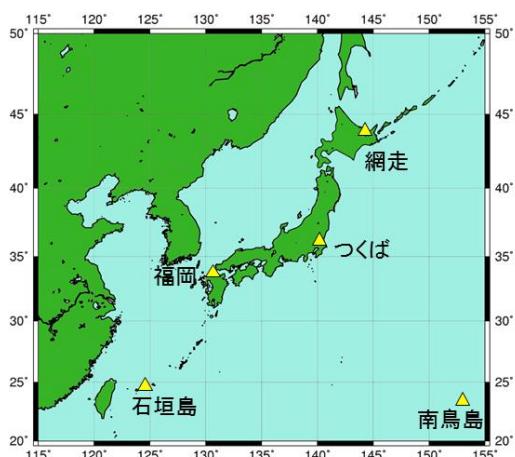


図 2.2-4 国内における日射及び赤外放射の観測地点  
日本国内では網走、つくば、福岡、石垣島、南鳥島の5地点で直達日射、散乱日射及び下向き赤外放射の観測を行っている。

#### (1) 全天日射量

世界の多くの地域における全天日射量<sup>20</sup>は、1960年頃から1980年代後半まで減少し、1980年代後半から2000年頃まで急速に増加し、その後は大きな変化が見られないという傾向が報告されている(Ohmura, 2009)。日本における変化傾向(国内5地点平均)によると、1970年代後半から1990年頃にかけて減少し、1990年頃から2000年代初めにかけて増加し、その後は大きな変化は見られない。これは、前述の世界的な傾向とほぼ整合している(図2.2-5)。

全天日射量の長期変化の原因としては、大気中の人為起源エアロゾルの変化による影響が大きく、

<sup>18</sup> 本レポートにおける有意性の評価と表現については、巻末の「変化傾向の有意性の評価について」を参照。

<sup>19</sup> 下向き赤外放射とは、天空の全方向から地表面に入射する赤外放射(赤外線)である。下向き赤外放射は、大気中の雲・水蒸気・二酸化炭素等からその絶対温度の4乗に比例して放射されるので、地球温暖化の監視に利用できる。

<sup>20</sup> 全天日射は、直達日射と天空の全方向から入射する散乱日射(雲からの反射日射を含む)を合わせたものであり、全天日射量は水平面で受けた全天日射エネルギー量である。全天日射の観測は、全天日射計による方法と、直達日射と散乱日射をそれぞれ観測しそれらを足し合わせたものによる方法があり、図2.2-5で使用したデータはより精度の高い後者の方法をできる限り採用している。

その他、雲量や雲の特性の変化も影響を与えていると考えられている (Wild, 2009)。日本の 1990 年頃から 2000 年代初めにかけての増加の原因についても、その 2/3 が人為起源エアロゾルの減少によるもので、残りの 1/3 が雲量の減少によるものと評価されており (Norris and Wild, 2009)、人為起源エアロゾルが全天日射量の変化に対して非常に大きな影響を与えていることが示されている。また、エアロゾルは種類によって光学特性が異なる。先述の日本における増加には、大気に含まれる人為起源エアロゾル総量の減少のみならず、その構成の変化による平均的な光学的特性の変化が影響を及ぼしていることが解析により示されている (Kudo et al., 2012)。

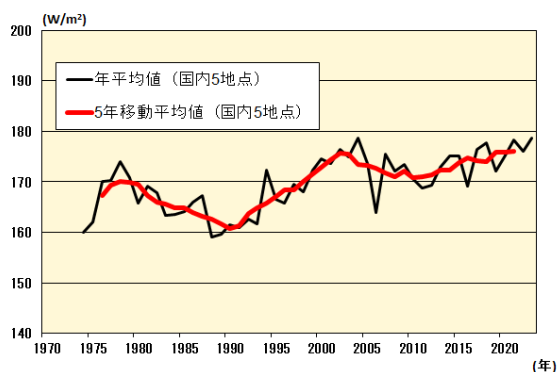


図 2.2-5 全天日射量の経年変化

国内 5 地点 (網走、つくば、福岡、石垣島、南鳥島) で平均した全天日射量の年平均値 (黒線) 及び 5 年移動平均値 (赤線)。

年平均値は、日合計値の観測日数が 20 日以上である月の月平均値の平均を示す。2010 年 3 月 (網走は 2021 年 2 月、つくばは 1987 年 12 月) 以前は全天日射計による全天日射量を使用し、2010 年 4 月 (網走は 2021 年 3 月、つくばは 1988 年 1 月) 以後は直達日射計と散乱日射計から算出した全天日射量を使用している。

## (2) 下向き赤外放射量

地球温暖化の原因物質である二酸化炭素を始めとする大気中の温室効果ガスは、人間活動により年々増加を続けている。温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化のシグナルは、地上気温の上昇よりも下向き赤外放射量の増加に明瞭に表れるため、下向き赤外放射量は地球温暖化の検出に有効な観測要素である。数値モデル実験の結果によれば、個々の観測地点における 20 年間の観測データを解析すれば、95%水準で統計的に有意な増加が検出可能であると示唆され、約 10 年間の実際の観測データによる解析では増加の兆候が明瞭に示されている (Wild and Ohmura, 2004)。

日本における下向き赤外放射量については、1990 年代初めからつくばにおいて研究観測が行われている。この観測データを用いて長期変化傾向を解析すると、1993~2023 年の期間に 1 年あたり約  $0.3 \text{ W/m}^2$  の割合で増加している (図 2.2-6)。これは、全世界の基準地上放射観測網 (BSRN) 20 観測地点の解析結果 (1992~2009 年において、年  $0.3 \text{ W/m}^2$  の割合で増加) と整合している (WCRP, 2010)。

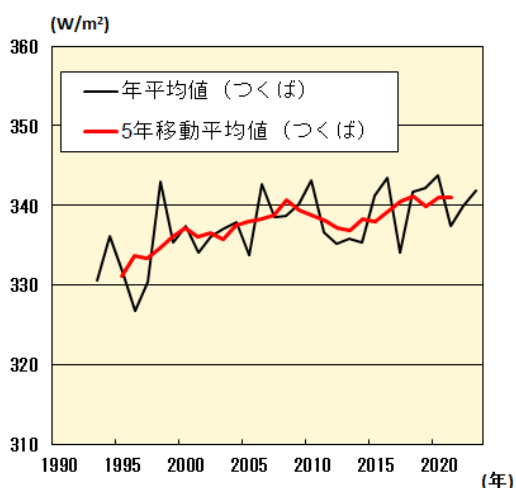


図 2.2-6 下向き赤外放射量の経年変化

つくばにおける下向き赤外放射量の年平均値 (黒線) 及び 5 年移動平均値 (赤線)。