

## 南極における降雪の酸素同位体組成

加藤 喜久雄\*

### Oxygen Isotopic Composition of Fallen Snow in Antarctica

Kikuo KATO\*

**Abstract:** The transportation process of water vapor to the Antarctic ice sheet is one of the most important factors controlling oxygen isotopic composition of precipitation in Antarctica, which was related only to its temperature of formation in the previous studies. The relationship between the oxygen isotopic composition of fallen snow at Syowa Station and the transportation process of water vapor to the Antarctic ice sheet has been investigated in this study. It was found that the oxygen isotopic composition of fallen snow is largely controlled by the supply of  $^{18}\text{O}$ -rich water vapor resulting from the approach of a circumpolar cyclone, and is closely related to the distance between the open sea and the sampling station. Taking into consideration the transportation process of water vapor to the Antarctic ice sheet, the correlation between the temperature of formation and the oxygen isotopic composition of fallen snow provides information about the formation process of snow. The correlation between the monthly means of the oxygen isotopic composition of fallen snow and the surface air temperature also provides information about the formation process of snow.

**要旨** 南極氷床への水蒸気輸送過程および降雪の生成過程が、降雪の生成温度のみにより決定されていると考えられてきた南極の降雪の酸素同位体組成 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) をどのように規制しているのか検討した。降雪の生成温度が同じであっても、低気圧下で生成した降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値は高気圧下で生成した降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値より大きく、降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値は沿岸低気圧によりもたらされる  $^{18}\text{O}$  に富んだ水蒸気の供給に大きく規制されている。また、降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値は水蒸気源からの距離、すなわち昭和基地から南極海の開水域までの距離にも規制されている。このように降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値が水蒸気輸送過程によっても大きく規制されていることを考慮し降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値と生成温度との関係を取り扱えば、降雪の生成過程に関する理論的考察から自然の現象が考察しうる。さらに、降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  の月平均値と月平均気温との関係から降雪の生成過程が考察できることが明らかになった。

### 1. はじめに

南極氷床は地球上の大気循環、水循環に深くかかわっており、氷床や海氷の消長に関連し

---

\* 名古屋大学水圏科学研究所 Water Research Institute, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464

て気候変動にもかかわっている。そこで、南極氷床への水蒸気輸送過程および降雪の生成過程との関連において、南極における降雪の酸素同位体組成 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) を決定している因子について考察した。

降水の  $\delta^{18}\text{O}$  値は降水をもたらせた水蒸気の  $\delta^{18}\text{O}$  値と降水の形成過程により規制される。

降水をもたらせた水蒸気は、その輸送過程において降水の形成および海上および陸上での新たな水蒸気の供給を幾度も経歴したものである。しかし、南極氷床および周辺の海氷上では、水蒸気の供給が非常に少ないので降水の形成のみを行いながら水蒸気が輸送されていると考えてよい。

一方、降水の形成過程において降水の  $\delta^{18}\text{O}$  値は、水蒸気の凝結過程と凝結温度（降水の生成過程と生成温度）および降水の落下中における蒸発と酸素同位体交換により大きく規制される。降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値については落下中における蒸発と酸素同位体交換による影響はないと考えられる。

これらのことは、高緯度地域においては降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値がその生成温度に大きく規制されていること（たとえば EPSTEIN and MAYEDA, 1953; PICCIOTTO *et al.*, 1960）に反映されており、降水の  $\delta^{18}\text{O}$  値と水蒸気輸送過程や降水の生成過程との関連を考察するには南極氷床は最適の場である。

GONFIANTINI and PICCIOTTO (1959) および PICCIOTTO *et al.* (1960) は、1958 年に昭和基地の近くの Roi Baudouin 基地で採取した降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値と降雪をもたらせた雲内の温度範囲との間に相関関係のあることを指摘し、降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値はその生成温度のみにより決まっていると考えた。

ALDAZ and DEUTSCH (1967) は 1964 年から 1965 年にかけて Amundsen-Scott 基地（南極点）においても、降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値と地表から上空 500 mb 面までの温度範囲との間に相関関係のあることを指摘し、降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値はその生成温度のみにより決まっていることを支持した。

しかし、加藤他 (1977) と KATO *et al.* (1978) は、昭和基地における降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値と地上気象観測結果との関係から、降雪の生成温度のみが降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値を決定している主要因子ではなく、低気圧による  $^{18}\text{O}$  に富んだ水蒸気の供給によっても降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値が規制されていることを指摘した。すなわち、降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値は水蒸気の輸送過程によっても規制されていると考えられる。そこで、高層気象観測結果が報告された (JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY, 1977) ので、昭和基地における降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値と生成温度との関係について検討し

た結果を、一部既報分 (KATO, 1978) も含めて報告する。

## 2. 試料と酸素同位体組成の測定法

昭和基地における降雪と地吹雪によりもたらされる飛雪を 1974 年 1 月～12 月にわたり、第 15 次日本南極地域観測隊により採取して頂いた。採取したのは積雪であるが、気象観測に基づいて降雪、飛雪、飛雪を含む降雪の 3 種に区分した。これらの雪はポリエチレンビンに入れ、冷凍状態で名古屋大学水圏科学研究所の冷凍室まで輸送された。酸素同位体組成の測定の直前に溶かして測定を行った。

酸素同位体組成は、EPSTEIN and MAYEDA (1953) の方法を一部修正した方法で測定した。試料水と 25°C で酸素同位体平衡にした炭酸カスの  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  比を、名古屋大学理学部地球科学教室の Varian Mat CH-7 質量分析計を用いて測定した。測定結果は次式のように、標準海水 (SMOW; CRAIG, 1961) からの  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  比の千分偏差 (‰) で表す。

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{試料}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{標準海水}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{標準海水}}} \times 1000,$$

測定誤差は  $\pm 0.2\text{‰}$  である。試料の採取年月日とその  $\delta^{18}\text{O}$  値は別に報告してある (KATO, 1977)。

## 3. 結果と考察

### 3.1. 降雪および飛雪の酸素同位体組成の季節変化

昭和基地で 1974 年 2 月から 12 月にかけて採取された雪試料は地吹雪によりもたらされた飛雪が 4 試料、飛雪を一部含む降雪が 16 試料、降雪のみが 38 試料である。

これらの雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値と 1974 年の月平均気温、月平均気圧 (JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY, 1977) を図 1 に示す。GONFIANTINI and PICCIOTTO (1959) および GONFIANTINI *et al.* (1963) が昭和基地近くの Roi Baudouin 基地で 1958 年と 1960 年に採取した降雪と飛雪について見出したように、 $\delta^{18}\text{O}$  値の明白な季節変化が認められ、また飛雪や飛雪を一部含む降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値は降雪のみの  $\delta^{18}\text{O}$  値が示す季節変化とほぼ同様であることが分かった。このことは、地吹雪によりもたらされる飛雪が降雪そのものであるか、あるいはかなり新しい降雪であることを示唆している。

PICCIOTTO *et al.* (1960) は 1958 年に採取した降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値が 4 月から 5 月にかけて急に小さな値となり、10 月から 11 月にかけて急に大きな値となり、11 月から 4 月と 5 月から 10

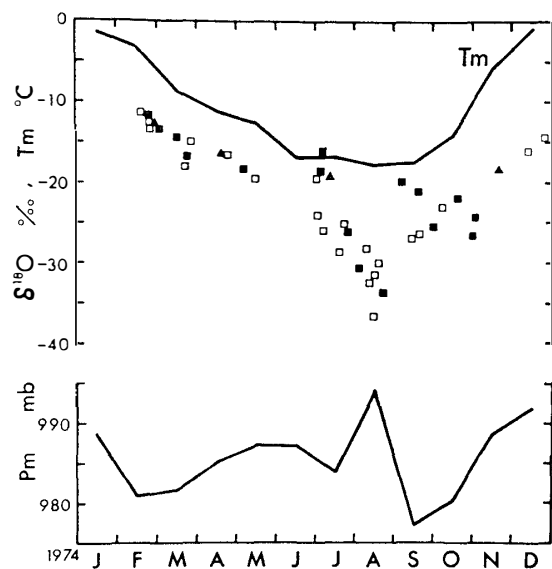


図 1 1974 年の昭和基地における降雪(□), 飛雪を一部含む降雪(■), 飛雪(▲)の酸素同位体組成 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) および月平均気温 ( $T_m$ ) と月平均気圧 ( $\bar{P}_m$ ).

Fig. 1. Oxygen isotopic composition of snow ( $\delta^{18}\text{O}$ ), monthly mean surface air temperature ( $T_m$ ) and monthly mean atmospheric pressure ( $\bar{P}_m$ ) in 1974 at Syowa Station. □: Fallen snow without drifting snow. ■: Fallen snow partly including drifting snow. ▲: Drifting snow.

月の 2 つのグループに分かれることを指摘し, 11 月から 4 月を isotopic summer, 5 月から 10 月を isotopic winter と呼んだ. この理由として, 雲が形成される対流圏中層の月平均気温が 3 月から 4 月, 10 月から 11 月にかけてかなり変動することを挙げている.

図 2 に示すように 1974 年の昭和基地上空の対流圏中層の月平均気温 (JAPAN METEOROLOG-

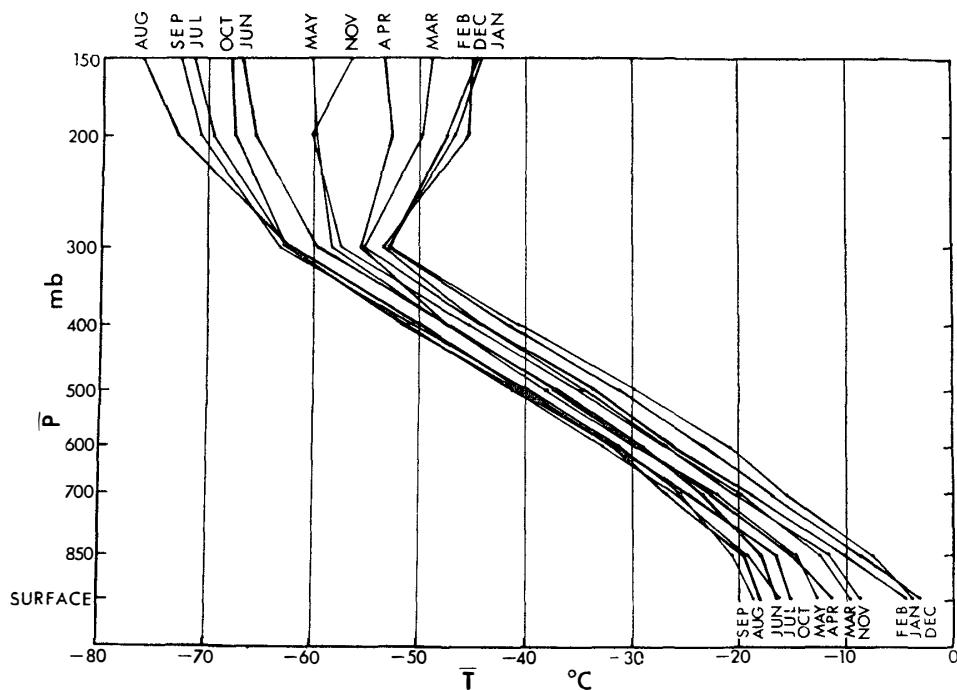


図 2 1974 年の昭和基地上空の月平均気温

Fig. 2. Monthly mean air temperature above Syowa Station in 1974.

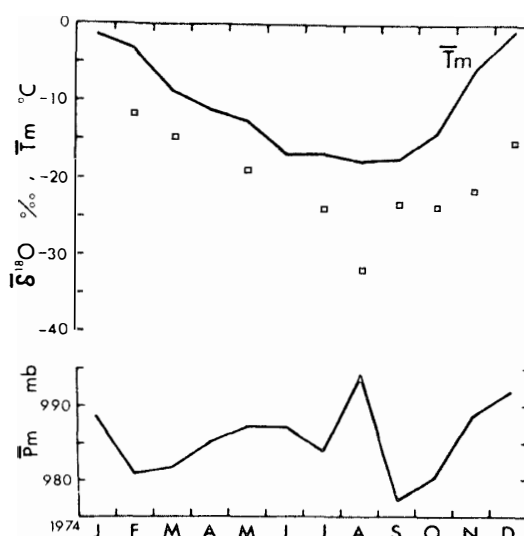
ICAL AGENCY, 1974) にも 3 月から 4 月, 10 月から 11 月にかけてかなりの変動が認められる。しかし, 図 1 から分かるように, 昭和基地の 1974 年の降雪については isotopic summer と isotopic winter のグループ分けはあまり明確ではない。しかし, isotopic winter が 5 月から始まってはいないことは間違いない。Roi Baudouin 基地においても, 1960 年に採取した降雪については isotopic winter は 5 月に始まっていない (GONFIANTINI *et al.*, 1963)。このことは, 降雪の生成温度のみが降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値を決定している主要因子ではないことを示唆している。

図 1 から, 月平均気圧が他の月の月平均気圧よりかなり高い 8 月の降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値が, 他の月の降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値に比べ, 月平均気温のわりに小さくなっていることがわかる。このことは, 図 1 の個々の降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値の代わりに, それから求めた  $\delta^{18}\text{O}$  の月平均値を示した図 3 において一層明瞭に示される。図 3 には, 降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値について各旬の平均値を求め, さらに各旬の平均値から月平均値を求めて図示した。この図から月平均気圧の高い 8 月の降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  の月平均値が著しく小さいことが分かる。

以上のことは, 加藤他 (1977) と KATO *et al.* (1978) が指摘したように, 昭和基地にもたらされる降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値は雪の生成温度のみを単純に反映しているのではなく, 低気圧による海側からの  $^{18}\text{O}$  に富んだ水蒸気の供給により, 大きくなっていると考えることにより説明される。図 1 および図 3 に示されるように, 月平均気圧が他の月平均気圧に比べかなり高い 8 月は低気圧により供給された  $^{18}\text{O}$  に富んだ水蒸気の量が他の月より少なかったものと考えられる。このことにより, 8 月の降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値が他の月の降雪より小さい理由が理解でき

図 3 1974 年昭和基地における降雪の酸素同位体組成の月平均値 ( $\bar{\delta}^{18}\text{O}$ ), 月平均気温 ( $\bar{T}_m$ ) および月平均気圧 ( $\bar{P}_m$ )。

Fig. 3. Unweighted monthly mean oxygen isotopic composition of fallen snow ( $\bar{\delta}^{18}\text{O}$ ), monthly mean surface air temperature ( $\bar{T}_m$ ), and monthly mean atmospheric pressure ( $\bar{P}_m$ ) in 1974 at Syowa Station



るのである。

そこで、高層気象観測結果 (JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY, 1977) から求めた降雪の生成温度と降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値との関係の水蒸気輸送過程との関連において検討した。

### 3.2. 降雪の酸素同位体組成と水蒸気輸送過程

昭和基地で採取した降雪の生成温度として、昭和基地上空の相対湿度 100% の温度範囲を用いた。その温度範囲と降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値との関係を図 4 に示した。図 4 からは降雪の  $\delta^{18}\text{O}$

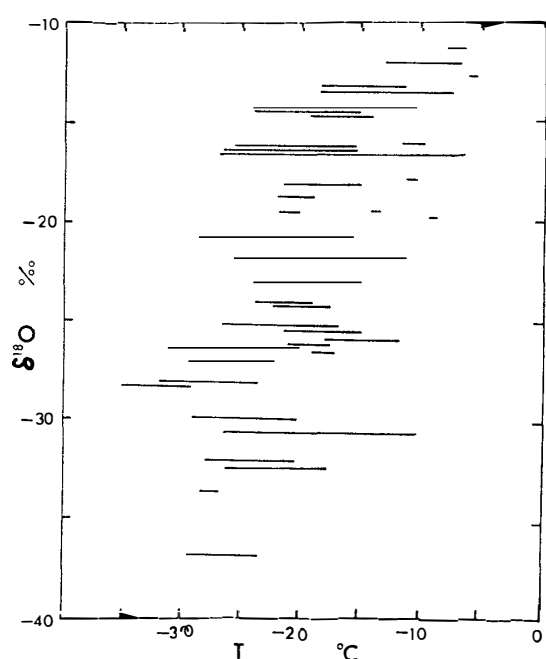


図 4 1974 年の昭和基地における降雪の酸素同位体組成と生成温度の関係。

Fig 4. Oxygen isotopic composition of fallen snow at Syowa Station against the temperature range in the corresponding cloud layer in 1974.

値とその生成温度との間に、PICCIOTTO *et al.* (1960) が指摘したような相関関係は見い出されない。このことは、降雪の生成温度のみが降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値を決定している主要因子ではないという考えを支持している。

そこで、図 4 に示した降雪について、天気図と気象観測結果 (JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY, 1977) に基づいて低気圧下と高気圧下で生成した降雪を区別して  $\delta^{18}\text{O}$  値と生成温度との関係を図 5 に示した。低気圧下で生成した降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値はその生成温度のわりには大きくなっている。逆に、高気圧下で生成した降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値はその生成温度のわりには小さくなっている。したがって、降雪の生成温度が同じであっても、低気圧下で生成した降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値は高気圧下で生成した降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値より大きい。このことは、降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値が低気圧によりもたらされる  $^{18}\text{O}$  に富んだ水蒸気の供給により、大きくなっていることを裏付けている。

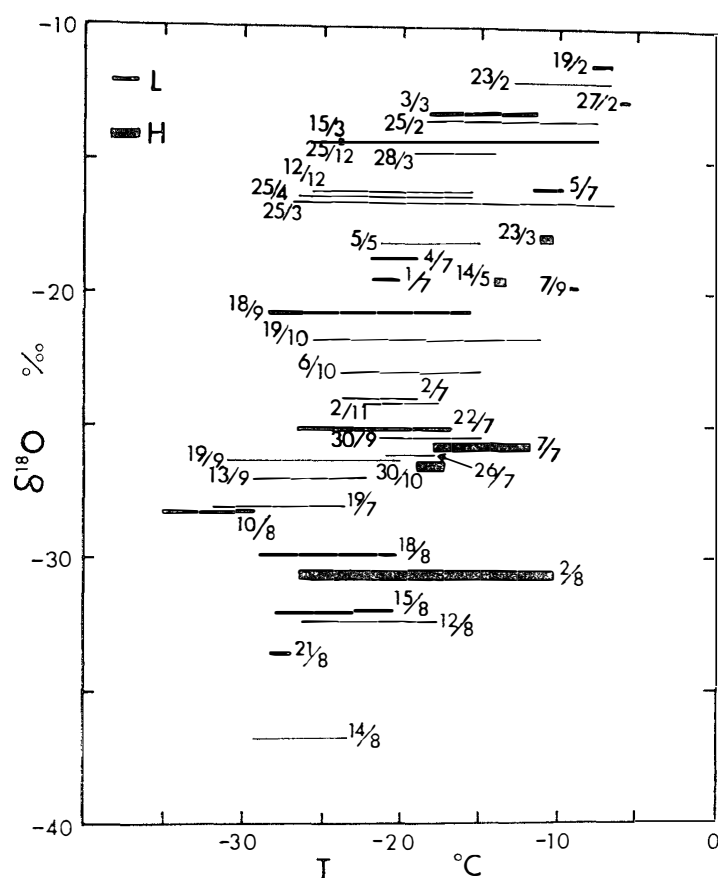


図 5 1974 年の昭和基地における沿岸低気圧下 (L) および南極高気圧下 (H) で生成した降雪の酸素同位体組成と生成温度の関係。

Fig 5 Oxygen isotopic composition of fallen snow at Syowa Station against the temperature range in the corresponding cloud layer in 1974 H Under anticyclone L Under cyclone

8 月の降雪の生成温度が他の月の降雪より特別に低いわけではないのに、8 月の降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値はすべて他の月の降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値より小さくなっている。図 1 から、8 月の月平均気圧が他の月の月平均気圧に比べ、かなり高いことが分かる。このことから、低気圧により供給された  $^{18}\text{O}$  に富んだ水蒸気の量が 8 月は他の月より少なかったものと考えられる。以上のことから、8 月の降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値が他の月の降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値より非常に小さい理由が理解でき、昭和基地の降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値が低気圧による  $^{18}\text{O}$  に富んだ水蒸気の供給により大きく規制されていることが分かる。

低気圧による  $^{18}\text{O}$  に富んだ水蒸気の供給を考慮に入れても、図 5 に示した降雪のうち、12 月から 5 月の降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値は、同じ生成温度の 7 月から 11 月の降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値より大きくなっている。図 5 から、水蒸気輸送過程の違いが降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値に大きく影響している低気

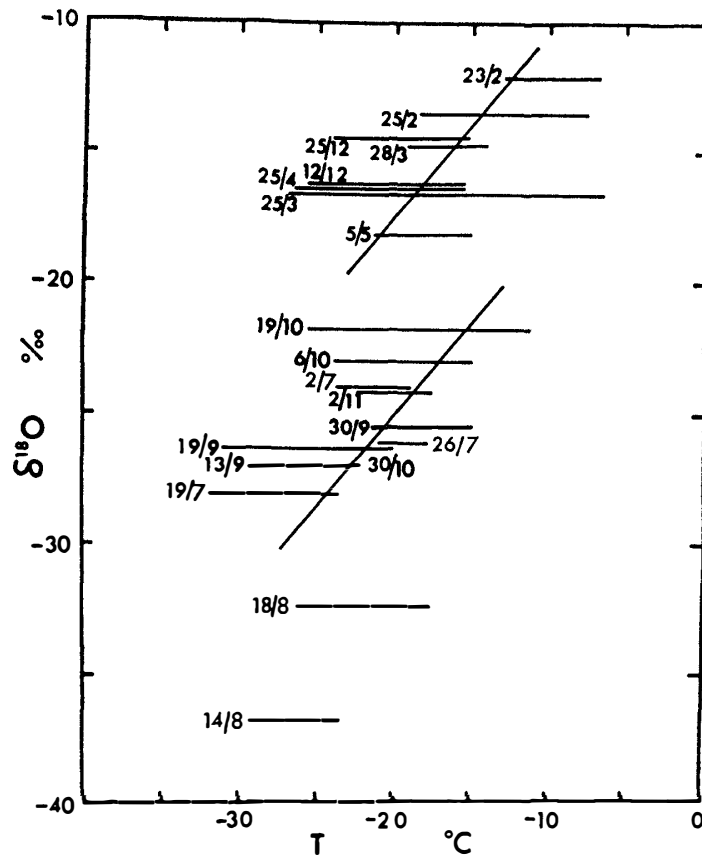


図 6 1974 年の昭和基地における沿岸低気圧下, および南極高気圧下以外の気象条件下で生成した降雪の酸素同位体組成と生成温度の関係。

Fig 6. Oxygen isotopic composition of fallen snow at Syowa Station against the temperature range in the corresponding cloud layer in 1974, excluding fallen snow formed under a cyclone or an anticyclone.

圧および高気圧下で生成した降雪を除いたものが図6である。この図から、7月から11月の降雪のグループと12月から5月の降雪のグループに分けられることは明らかである。前者が Picciotto *et al.* (1960) がいう isotopic winter に当たり、後者が isotopic summer に当たるものと考えられる。

Isotopic winter の降雪の生成温度と isotopic summer の降雪の生成温度は、図1に示した月平均気温は大きく違うのに、あまり異なっていない。したがって、低気圧によりもたらされる水蒸気の  $\delta^{18}\text{O}$  値が、isotopic winter の方が isotopic summer より大きいものと考えられる。このことは、12月から5月の間は昭和基地から開水域までの距離が7月から11月の間に比べ短いことに大きく関連している可能性がある。その距離は、ARTS と ESSA の人工衛星写真から、12月から5月の間は約 40~400 km, 7月から11月の間は約 800~1100 km



であり、5月と7月、11月と12月の間に著しく変化することが認められた。この結果は、TRESHNIKOV (1967) が報告しているように、海氷が11月に非常に大きな速さで溶けていくために海氷域が非常に大きな速さで小さくなっていき、5月から7月にかけては海氷が生成されて海氷域が徐々に大きくなっていくこととよく一致している。したがって、これらの2期間における昭和基地への水蒸気の輸送過程の違いが isotopic winter と isotopic summer の出現をひきおこしているといえよう。

### 3.3. 降雪の酸素同位体組成と生成過程

DANSGAARD (1964) は Rayleigh の式を基礎に考察し、降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値とその生成温度との関係が水蒸気の凝結過程、すなわち降雪の生成過程により異なってくることを始めて指摘した。Rayleigh の式は、ある  $\delta^{18}\text{O}$  値の水蒸気が凝結していく一連の過程において、凝結過程と凝結温度における酸素同位体分別係数により決定される降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値と生成温度との関係を示すものであり、その関係はほぼ直線で示される。実際には、個々の生成温度の降雪を区別して採取できないので、ある範囲の  $\delta^{18}\text{O}$  値の水蒸気からある範囲の温度で生成した降雪についても上のことが適用できるとして、降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値と生成温度との相関関係を示す直線の傾きについて考察するのが通常である。

PICCIOTTO *et al* (1960) は Roi Baudouin 基地における 1958 年のすべての降雪について求めた直線の傾きとして 0.9 を与えている。この値は、降雪の生成温度から考えて降雪が等圧冷却過程で生成したことを示していて、沿岸低気圧下での凝結過程としては妥当かどうか検討すべき課題である。

いま、図 4 の昭和基地における 1974 年の降雪すべてについて直線関係があるとして求めたとき、直線の傾きは 1.5 以上にもなり、それに対応する凝結過程は考えられない。しかし、昭和基地における降雪は、高層気象観測結果 (JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY, 1977) からみて、高気圧下で生成した降雪を除くすべてが、上昇気流に伴う湿潤断熱冷却過程で生成している (加藤・樋口, 1979)。

以上のことは、DANSGAARD (1964) が Rayleigh の式を基礎に考察した降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値と生成温度との関係が、自然の事実と合致しないことを意味しているのか、あるいは降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値が生成温度のみにより決定されていると考えることが間違いであり、水蒸気の輸送過程を考慮すれば自然の事実の理解に非常に有用であることを示しているのかも知れない。

そこで、降雪の生成温度範囲における水蒸気圧の平均値を示す温度と  $\delta^{18}\text{O}$  値との相関関係を示す直線を求めた。

図 6 に示した低気圧および高気圧下以外の気象条件下で生成した降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値と生成温度との相関関係は、12~5 月、7~11 月の各グループについて図に示した直線で示される (8 月の降雪は除く)。これらの直線の傾きはほぼ同じで、0.7 であり、生成温度範囲から考え降雪が上昇気流に伴う湿潤断熱冷却過程で生成したことを示している。また、図 5 の低気圧下で生成した降雪に関して求められる直線の傾きは、12~5 月のグループで 0.5, 7~11 月 (8 月を除く) のグループでは 0.7 であり (加藤・樋口, 1979), やはり上昇気流に伴う湿潤断熱冷却過程で降雪が生成したことを示している。

降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値と生成温度との相関関係を示す直線の傾きから、高気圧下で等圧冷却過程で生成した降雪を除き (加藤・樋口, 1979), すべての降雪は上昇気流に伴う湿潤断熱冷却過程で生成したことが分かる。ところが、図 6 において 8 月の降雪を除くすべての降雪について直線関係が存在するとしたときでも直線の傾きは約 1.1 で、PICCIOTTO *et al.* (1960) が Roi Baudouin 基地の 1958 年のすべての降雪について求めた直線の傾きと同様に、みかけ上、降雪が等圧冷却過程で生成したことになる。このことは、降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値が、水蒸気の輸送過程を考慮しないで、生成温度のみにより決定されているという考え方が間違っていることを裏付けている。

降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値が、その真の生成温度との関係において考察されているのはまれであり、多くの場合は地表の気温との関係で考察される。その場合、個々の降雪について  $\delta^{18}\text{O}$  値と気温との関係を考察するのではなく、それらの月平均値あるいは年平均値について考察する

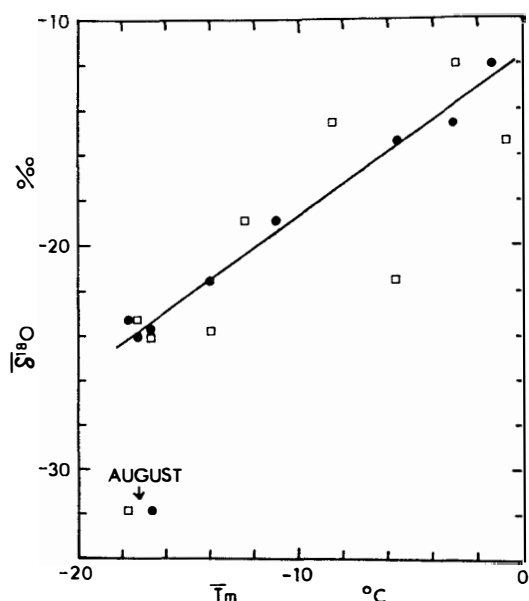


図 7 1974 年の昭和基地における降雪の酸素同位体組成の月平均値 ( $\bar{\delta}^{18}\text{O}$ ) と月平均気温 ( $\bar{T}_m$ ) の関係。□: 月平均気温と同じ月の  $\bar{\delta}^{18}\text{O}$  の月平均値。●: 月平均気温とその次の月の  $\bar{\delta}^{18}\text{O}$  の月平均値。

Fig 7. Unweighted monthly mean oxygen isotopic composition ( $\bar{\delta}^{18}\text{O}$ ) of fallen snow against monthly mean surface air temperature ( $\bar{T}_m$ ) in 1974 at Syowa Station □:  $\bar{T}_m$  and  $\bar{\delta}^{18}\text{O}$  in the month for which  $\bar{T}_m$  is given. ●:  $\bar{T}_m$  and  $\bar{\delta}^{18}\text{O}$  in the month following the month for which  $\bar{T}_m$  is given.

のが通常である。

そこで、図 3 に示した降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  の月平均値と月平均気温について、同じ月の平均気温と  $\delta^{18}\text{O}$  の平均値との関係と、月平均気温とその次の月の  $\delta^{18}\text{O}$  の平均値との関係を図 7 に示した。前者の関係においては、あまりきれいな直線関係は見られないが、後者では、8 月を除いて、かなりきれいな直線関係のあることが見いだされた。この直線の傾きは 0.7 で、高気圧下以外で生成した降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値とその生成温度との関係について求められた直線の傾きとほぼ同じである。このことは、地表の月平均気温と雪の  $\delta^{18}\text{O}$  の月平均値との関係が、雪の生成温度と  $\delta^{18}\text{O}$  値との関係と同様に、雪が生成した冷却過程に関する情報を提供することを示している。

また、月平均気温とその次の月の降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  の平均値との間に相関関係があることは、単に地表気温の変化が上層大気の気温変化をもたらすのに 1 カ月くらいの時間を要することを意味しているのではなく、水蒸気輸送過程の季節変化をも考慮に入れて解明されるべき課題であろう。

#### 4. ま と め

南極氷床への水蒸気輸送過程および降雪の生成過程が、降雪の生成温度のみにより決定されていると考えられてきた南極の降雪の酸素同位体組成を、どのように規制しているのか検討した。

昭和基地における降雪および地吹雪によりもたらされる飛雪について酸素同位体組成を測定し、主に高層気象観測結果との関係について考察した。飛雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値の季節変化は、降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値の季節変化とほぼ同様であり、飛雪は降雪そのものであるか、あるいはかなり新しい降雪である。降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値の季節変化は、PICCIOTTO *et al.* (1960) が指摘した雲が形成される対流圏中層の気温の季節変化とは一致せず、加藤他 (1977) と KATO *et al.* (1978) が地上気象観測結果との関係から推察した沿岸低気圧によりもたらされる  $^{18}\text{O}$  に富んだ水蒸気の供給を考慮することにより理解される。

降雪の生成温度が同じであっても、低気圧下で生成した降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値は高気圧下で生成した降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値より大きくなっており、降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値が、沿岸低気圧によりもたらされる  $^{18}\text{O}$  に富んだ水蒸気の供給に大きく規制されていることが明らかになった。それゆえ、降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値は、水蒸気源からの距離、すなわち昭和基地から南極海の開水域までの距離が大きいほど小さく、距離が小さいほど大きくなっている。このように、降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値が、

降雪の生成温度だけでなく、水蒸気輸送過程によっても大きく規制されていることが明らかになった。

水蒸気輸送過程を考慮して降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  値と生成温度との関係を取り扱えば、自然の現象と一致しないと考えられてきた降雪の生成過程に関する理論的考察が、自然の現象の把握に非常に有用であることが明らかになった。さらに、降雪の  $\delta^{18}\text{O}$  の月平均値と月平均気温との関係からも、降雪の生成過程が考察できることが明らかになった。

なお、本研究にあたり、試料採取にご協力いただいた名古屋大学水圏科学研究所の渡辺興亜助教授をはじめ第 15 次日本南極地域観測隊員、酸素同位体組成の測定にご協力いただいた名古屋大学理学部の中井信之教授、富山大学理学部の水谷義彦教授および適切な助言をいただいた名古屋大学水圏科学研究所の樋口敬二教授、北野康教授の諸氏に心から感謝の意を表します。

## 文 献

- ALDAZ, L. and DEUTSCH, S. (1967): On a relationship between air temperature and oxygen isotope ratio of snow and firn in the South Pole region *Earth Planet. Sci. Lett.* **3**, 267–274.
- CRAIG, H. (1961): Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. *Science*, **133**, 1833–1834.
- DANSGAARD, W. (1964): Stable isotopes in precipitation *Tellus*, **16**, 436–468.
- EPSTEIN, S. and MAYEDA, T. (1953): Variation of  $\text{O}^{18}$  content of water from natural sources *Geochim Cosmochim. Acta*, **4**, 213–224.
- GONFIANTINI, R. and PICCIOTTO, E. (1959): Oxygen isotope variations in Antarctic snow samples. *Nature*, **184**, 1557–1558.
- GONFIANTINI, R., TOGLIATTI, V., TONGIORIGI, E., DEBREUCK, W. and PICCIOTTO, E. (1963): Snow stratigraphy and oxygen isotope variations in the glaciological pit of King Baudouin Station, Queen Maud Land, Antarctica. *J. Geophys. Res.*, **68**, 3791–3798.
- JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY (1977): Meteorological data at the Syowa Station in 1974 *Antarct. Meteorol. Data*, **15**, 1–215.
- KATO, K. (1977): Oxygen isotopic composition and gross  $\beta$ -radioactivity in firn *JARE Data Rep.*, **36**, 158–169.
- KATO, K. (1978): Factors controlling oxygen isotopic composition of fallen snow in Antarctica. *Nature*, **272**, 46–48.
- 加藤喜久雄・樋口敬二 (1979): 南極高気圧下で生成した雪の酸素同位体組成. *南極資料*, **67**, 152–163.
- 加藤喜久雄・渡辺興亜・佐藤和秀 (1977): 南極みずほ高原の雪の酸素同位体組成. *南極資料*, **58**, 263–270.
- KATO, K., WATANABE, O. and SATO, K. (1978): Oxygen isotopic composition of the surface snow in Mizuho Plateau. *Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **7**, 245–254.
- PICCIOTTO, E., DEMAEERE, X. and FRIEDMAN, I. (1960): Isotopic composition and temperature of formation of Antarctic snow. *Nature*, **187**, 857–859.
- TRESHNIKOV, A. (1967): The ice of the southern ocean. *JARE Sci. Rep., Spec. Issue*, **1**, 113–123.
- (1979 年 4 月 26 日受理)