

山岳域における霧水中の化学成分にみられた 夏期のバックグラウンド黄砂の影響

渡 辺 幸 一*

1. はじめに

黄砂現象は春の風物詩としてなじみが深く、春期によく観測される現象である。大陸から輸送されてくる黄砂粒子は、放射特性に大きな影響を与えるだけでなく (Arao and Ishizaka, 1986), 炭酸カルシウムなどのアルカリ成分を豊富に含んでいるため降水や雲水の酸性化を抑える働きを持っている (Nishikawa *et al.*, 2000; Watanabe *et al.*, 2001a)。近年、国内で黄砂現象が観測される日数が増加しており、2000年から2002年にかけて3年連続の高頻度の黄砂現象が観測された (黒崎・三上, 2002)。また、2002年11月には、秋期としては極めて規模の大きい黄砂現象が広く観測された (Watanabe and Honoki, 2003)。そのため黄砂粒子による大気環境への影響についての見解がますます重要視され、国内での観測研究もさかんに行なわれてきている (杉本ほか, 2002; Watanabe *et al.*, 2005)。

地上での黄砂現象は、低気圧活動に伴い、主に春期 (まれに秋期) に観測される現象であるが、地上付近において黄砂現象が観測されていない場合でも、上空 (自由対流圏) では黄砂層が観測されることがあり「弱い黄砂」あるいは「バックグラウンド黄砂」としてとりあげられている (岩坂ほか, 1991, 2002)。最近、夏期においても大陸起源と考えられる土壌粒子 (黄砂粒子) が観測され、夏期の「バックグラウンド黄砂」の存在が確認された (Matsuki *et al.*, 2003)。このような夏期における「バックグラウンド黄砂」も放射特性や雲水の化学特性 (酸性化の抑制) 等に影響を与えているものと考えられるが、その影響についての報告はこれまでなされていない。

本報では、夏期の高山域 (乗鞍岳) において観測さ

れた霧水 (雲水) 中の化学成分データに、「バックグラウンド黄砂」の影響と考えられる事例がみられたので、その可能性について検討した。岩坂ほか (2002) によると、通常「バックグラウンド黄砂」という用語は、タクラマカン砂漠を起源としているものに用いられているようであるが、本文においては、特に起源を特定せず「バックグラウンド黄砂」という用語を使用することにする。

2. 乗鞍岳における霧水中の化学成分

第1表に中部山岳地帯の乗鞍岳における霧水中の化学成分濃度の概要を示す。データは乗鞍岳山頂付近の東京大学宇宙線観測所 (36.1°N, 137.3°E, 標高2770 m) において観測されたものである。これらの霧水はアクティブサンプラーでバルク採集されたものであり、試料採取・化学分析 (イオンクロマトグラフ法による) 方法についても、Watanabe *et al.* (1999) に詳しく記述されている。ただし、Watanabe *et al.* (1999) には、霧水中の化学成分の起源についての考察は行われていない。なお、1991年8月のデータについては、Minami and Ishizaka (1996) による。

第1表から、乗鞍岳では pH が 4 以下の強い酸性霧がたびたび発生していることがわかる。また、陰イオン成分では硫酸イオンが最も高濃度であり、霧水の酸性化に貢献しているものと考えられる。Minami and Ishizaka (1996) は、関西や名古屋方面からの大気汚染が、乗鞍岳の霧水を酸性化させる主な原因と考えられることを示し、Watanabe *et al.* (1995) は、夏期の乗鞍岳において、気相中の過酸化水素や二酸化硫黄などの濃度測定を行い、霧発生時に二酸化硫黄が硫酸へと非常に酸化されやすいことを示した。1993年7月には乗鞍岳において霧水の粒径別採取も行われたが (Watanabe *et al.*, 2001b), このときも霧水は酸性化しており (pH が 4 以下の強い酸性霧も発生してい

* 富山県立大学短期大学部環境システム工学科。

—2005年3月14日受領—

—2005年5月13日受理—

た), 硫酸イオンも高濃度であった。また, 1960年代においても乗鞍岳で霧水中の化学成分濃度の測定がなされ, このときすでに pH が 4 以下の強い酸性霧が観測されていた (Okita, 1968)。これらのことから, 乗鞍岳では, 強い酸性霧が30年以上に渡ってたびたび発生していたものと考えられる。

このように乗鞍岳では霧水が酸性化されていることが多いが, 1994年7月の事例では, 硫酸イオンが高濃度であるにもかかわらず, 霧水の pH が 6 以上と高く, いわゆる酸性霧ではない霧が発生していた (第1表)。このときの霧水中にはカルシウムイオン濃度が高く, 多量の土壌粒子などミネラルダストが含まれていたものと考えられる。なお, 国内において, この期間地上では黄砂現象が観測された報告はなかった。

3. バックグラウンド黄砂の影響

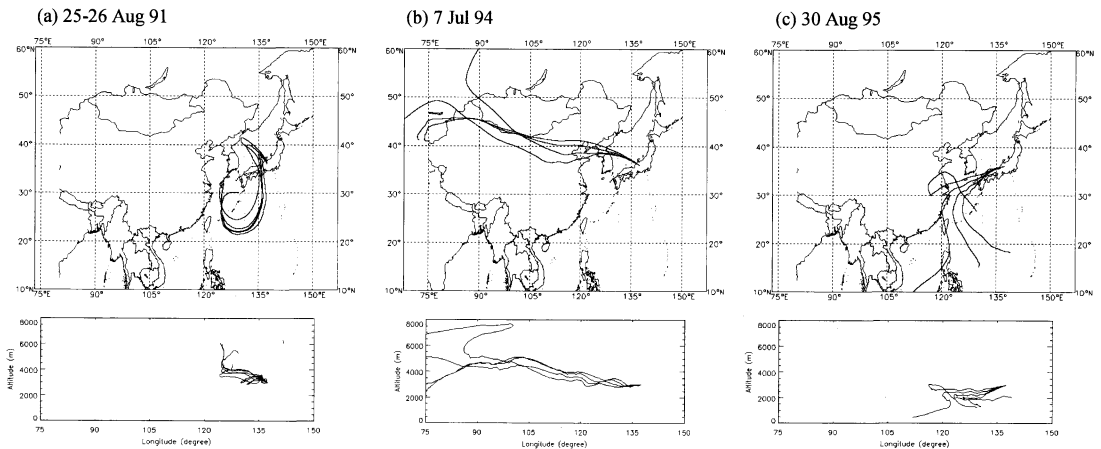
霧水中の水溶成分の起源を推定するために, 乗鞍岳で霧が発生していた期間の後方流跡線解析を行った (第1表に示されている期間について後方流跡線解析を行なった)。第1図に, 乗鞍岳を起点 (高度3000 m) とする7日間後方流跡線解析の結果の例 (1991年8月25~26日, 1994年7月7日, 1995年8月30日)を示す。計算には, 米国海洋大気庁 (NOAA) の HYSPLIT4

第1表 乗鞍岳山頂付近で採取された霧水中の化学成分濃度 ($\mu\text{eq/l}$) の概要。

Date	pH	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
23-26 Aug 91	3.3-4.3	7-1414	0-3211	43-3625	5-991	0-2300	0-37	0-41	3-67
7-9 Jul 94	5.7-6.7	17-171	23-486	110-823	0-47	117-689	8-151	18-275	65-1450
30 Aug 95	3.1-3.5	65-109	76-238	317-873	38-54	174-325	8-10	13-20	27-48

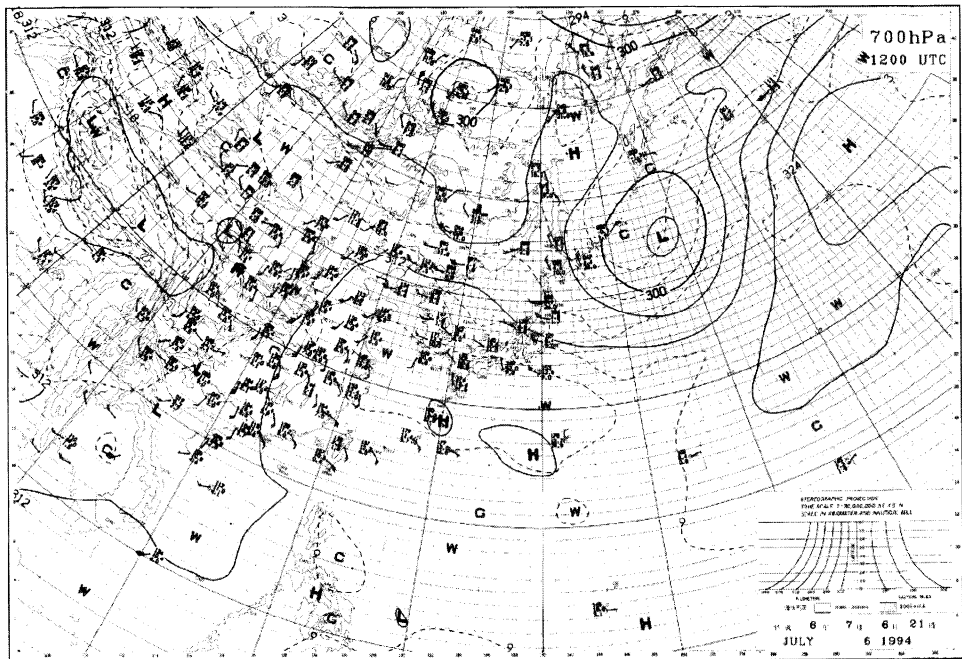
(Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) モデル (Web address : <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD) を使用した。なお, この期間 (第1図に示した期間) における霧の発生は, 1991年8月25日の朝と夕方から夜間および26日の夜間に (Minami and Ishizaka, 1996), 1994年7月7日の午前中から昼過ぎにかけて, 1995年8月30日の夕方から夜間にかけてそれぞれ観測されていた。

第1図から, 1991年8月や1995年8月の事例では, 国内の汚染地域や一部は大陸の汚染地域を通過してきているのに対し (1991年8月の例では, 日本国内の影響を, 1995年8月の例では, 日本国内と大陸の汚染地域の影響を受けていた可能性が考えられる), 1994年7月7日の事例においては, 乗鞍岳における空気塊が, 大陸の乾燥地域 (ゴビ砂漠や黄土高原上空, タクラマ



第1図 乗鞍岳山頂付近を起点とする7日間後方流跡線解析の結果, a) 1991年8月25日6, 18, 21時および26日21, 24時, b) 1994年7月7日6, 9, 12, 15時, c) 1995年8月30日15, 18, 21, 24時。

(a) 6 Jul 94



第2図 (a) 1994年7月6日, (b) 7日および (c) 1995年8月30日における21時の700 hPa 高度天気図。(b), (c) 図次ページに掲載

カン砂漠の北側上空)を起源としていることがわかる(大陸の汚染地域も通過してきているが)。ただし、これらの流跡線の結果だけでは、乗鞍岳で観測された土壌起源物質の発生源を特定することはできない。また、気象庁提供の世界気象資料(CD-ROM)によると、1994年6月下旬から7月初旬における中国での砂じんあらしの報告はなされていない。

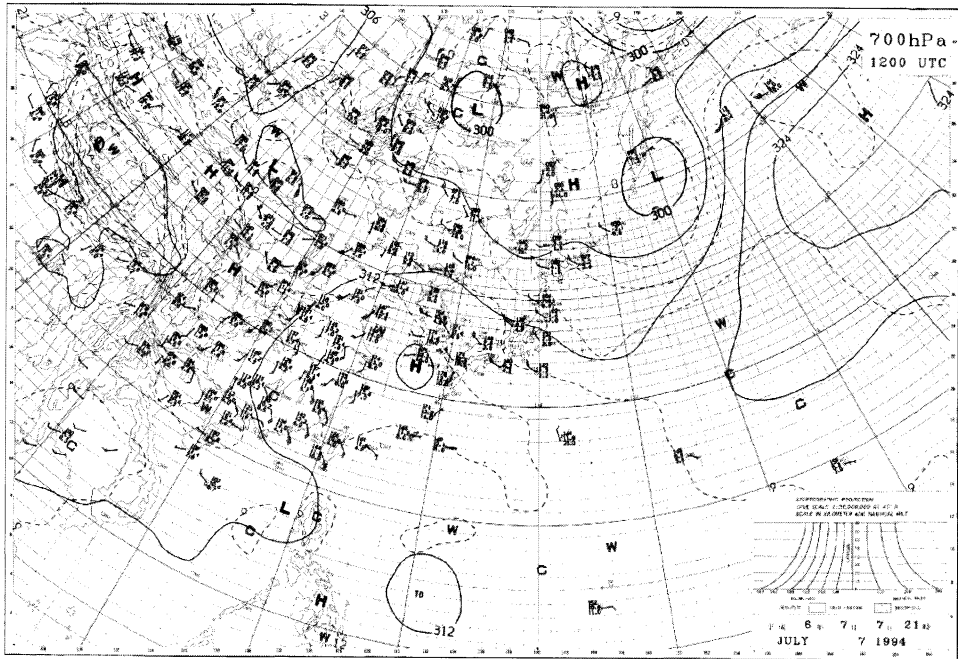
岩坂ほか(2002)には、タクラマカン砂漠の地理的・地形的特徴が大きな意味を持ち、ダスト粒子が長距離輸送されやすいことや、年間を通してタクラマカン砂漠の上空が黄砂粒子のプールのような状態になっていることが暗示されている。そのため、この期間にみられた高濃度のカルシウムイオンは、タクラマカン砂漠を起源とする「バックグラウンド黄砂」の影響による可能性も考えられる(第1図の流跡線は、タクラマカン砂漠より少し北側を通過しているが)。ただし、ゴビ砂漠や黄土高原が起源であった可能性もありうる。

Matsuki *et al.* (2002)による2000~2001年の航空機観測では、夏季の「バックグラウンド黄砂」は高度4 km以上の上空で観測されていたが、1994年7月の事例では高度3 km付近においても「バックグラウンド

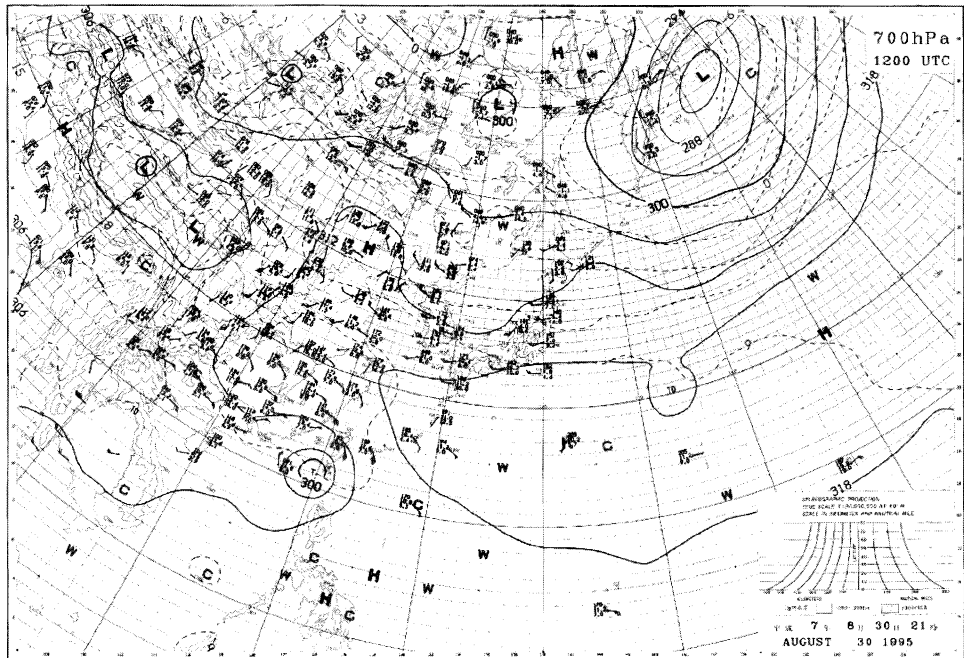
黄砂」が存在していた可能性が考えられる。夏季の「バックグラウンド黄砂」が観測される高度は、気圧配置など気象条件によって左右されるものと考えられる。第2図に、1994年7月6日と7日および1995年8月30日における21時の700 hPa 高度天気図を示す。観測地点の気圧は通常730 hPa程度であるため、気圧配置の違いを比較するために(観測地点の高度より高い)700 hPa 高度天気図を示した。なお、当時の気象庁による高層天気図は、21時のみ印刷発表されていた。上述したように1994年7月7日は午前中から昼過ぎにかけて乗鞍岳で霧が発生していたため、霧発生の前後となる両日の天気図を第2図に示した。

第2図から、1995年8月30日の例では、中部日本が太平洋高気圧の勢力下に位置していたのに対し、1994年7月6日21時には、中部から北部日本上空が大陸からの影響を非常に受けやすかったことが推定される(7月7日21時になると、大陸からの影響を受けやすかった領域が北東側へ若干移動している)。また、1994年の夏は記録的な猛暑であったが、この原因として、大陸からの背の高い高圧帯と海洋性の北太平洋高気圧がドッキングしたためであると考えられている(大和田、

(b) 7 Jul 94



(c) 30 Aug 95



(第2図のつづき)

2003). このように1994年7月は、乗鞍岳山頂高度の空気塊が大陸(特に乾燥地域)の影響を受けやすかったものと考えられ、中部日本上空の「バックグラウンド黄砂」が比較的low高度に存在していた可能性が考えられる。また、この「バックグラウンド黄砂」の存在により山岳域(乗鞍岳だけでなく他の山岳域においても)で発生する酸性霧を中和していたものと考えられる。

4. まとめ

乗鞍岳で観測された霧水中の化学成分濃度から、夏期の「バックグラウンド黄砂」の影響を検討した。通常乗鞍岳では、霧水が酸性化されていることが多く、酸性霧中には高濃度の硫酸イオンが含まれていたが、1994年7月に採取された霧水中にはカルシウムイオン濃度が例外的に高く、硫酸イオンも比較的高濃度であったにもかかわらず、霧水は酸性化されていなかった。後方流跡線解析の結果から、この期間の乗鞍岳山頂付近(あるいは中部日本上空)の空気塊は、大陸の乾燥地域を起源としていることが示され、いわゆる「バックグラウンド黄砂」の影響を強く受けていた可能性が示唆された。ただし、現時点ではこのときの「バックグラウンド黄砂」の起源を特定することはできない。

夏期における「バックグラウンド黄砂」が存在する高度は、気圧配置などさまざまな気象条件によって変化するものと考えられ、黄砂粒子が夏期においても大気環境へ影響を与えている可能性がある。本研究の結果のように、夏期においても比較的low高度で「弱い黄砂層」が出現する可能性があり、高所でのエアロゾル粒子や雲水(霧水)の長期観測が必要となる。また、最近の研究から、乗鞍岳だけでなく、他の3000 m級の山岳域においても強い酸性霧がたびたび発生していることがわかってきた(渡辺ほか, 2005)。「バックグラウンド黄砂」による酸性霧の中和過程は、高所における生態系などにも影響を与えている可能性も考えられる。

謝辞

乗鞍岳での観測では、乗鞍岳宇宙線観測所のスタッフの方々や名古屋大学地球水循環研究センターの石坂隆助教授をはじめ多くの方のお世話になりました。また、名古屋大学大学院環境学研究所の齋藤伸治氏、鳥取地方気象台の牧田広道氏には多大なご協力と有用な助言をいただきました。皆様にお礼申し上げます。また、本研究の一部は、科学研究費補助金(若手研究(B))

の補助により進められました。

参考文献

- Arao, K. and Y. Ishizaka, 1986: Volume and mass of yellow sand dust in the air over Japan as estimated from atmospheric turbidity, *J. Meteor. Soc. Japan*, **64**, 79-94.
- 岩坂泰信, 今須良一, 箕浦宏明, 長屋勝博, 1991: 黄砂, 名古屋大学水圏科学研究所編, 古今書院, 37-44.
- 岩坂泰信, 金 潤爽, D. トロシキン, 松木 篤, 山田 丸, 柴田 隆, 長谷徹志, 石 廣玉, 2002: 黄砂粒子の長距離輸送と粒子の変質, *地球環境*, **7**, 159-170.
- 黒崎泰典, 三上正男, 2002: 東アジアにおける近年のダスト多発現象とその原因, *地球環境*, **7**, 233-242.
- Matsuki, A., Y. Iwasaka, K. Osada, K. Matsunaga, M. Kido, Y. Inomata, D. Trochkin, C. Nishita, T. Nezuka, T. Sakai, D. Zhang and S.-A. Kwon, 2003: Seasonal dependence of the long-range transport and vertical distribution of free tropospheric aerosols over east Asia: on the basis of aircraft and lidar measurements and isentropic trajectory analysis, *J. Geophys. Res.*, **108**, 8663, doi: 10.1029/2002JD003266.
- Minami, Y. and Y. Ishizaka, 1996: Evaluation of chemical composition in fog water near the summit of a high mountain in Japan, *Atmos. Environ.*, **30**, 3363-3376.
- Nishikawa, M., Q. Hao and M. Morita, 2000: Preparation and evaluation of certified reference materials for Asian mineral dust, *Global Environ. Res.*, **4**, 103-113.
- Okita, T., 1968: Concentrations of sulfate and other inorganic materials in fog and cloud water and in aerosol, *J. Meteor. Soc. Japan*, **46**, 120-127.
- 大和田道雄, 2003: 環境気候学, 吉野正敏・福岡義隆編, 東京大学出版会, 111-122.
- 杉本伸夫, 清水 厚, 松井一郎, 鶴野伊津志, 荒生公雄, 陳 岩, 2002: 連続運転偏光ライダーネットワークによる黄砂の動態把握, *地球環境*, **7**, 197-207.
- Watanabe, K., Y. Ishizaka and H. Tanaka, 1995: Measurements of atmospheric peroxides concentrations near the summit of Mt. Norikura in Japan, *J. Meteor. Soc. Japan*, **73**, 1153-1160.
- Watanabe, K., Y. Ishizaka and C. Takenaka, 1999: Chemical composition of fog water near the summit of Mt. Norikura in Japan, *J. Meteor. Soc. Japan*, **77**, 997-1006.
- Watanabe, K., Y. Ishizaka and C. Takenaka, 2001a:

- Chemical characteristics of cloud water over the Japan Sea and the Northwestern Pacific Ocean near the central part of Japan : airborne measurements, *Atmos. Environ.*, **35**, 645-655.
- Watanabe, K., Y. Ishizaka, Y. Minami and K. Yoshida, 2001b : Peroxide concentrations in fog water at mountainous sites in Japan, *Water, Air and Soil Pollution*, **130**, 1559-1564.
- Watanabe, K. and H. Honoki, 2003 : On the Kosa (Asian dust) event in November 2002 : aerosol number concentrations and precipitation chemistry in Toyama, Japan, *J. Meteor. Soc. Japan*, **81**, 1489-1495.
- Watanabe, K., I. Suzuki and Y. Dokiya, 2005 : Aerosol number concentrations during Kosa events on suburban hills in Japan, *Water, Air and Soil Pollution : Focus*, in press.
- 渡辺幸一, 名取千晶, 朴木英治, 2005 : 立山における霧水の化学成分, *大気環境学会誌*, **40**, 122-128.

Influence of Background Kosa on Chemical Compositions in Fog Water at a Mountainous Site

Koichi WATANABE*

* *Department of Environmental Systems Engineering, College of Technology, Toyama Prefectural University, 5180 Kurokawa, Kosugi-machi, Imizu-gun, Toyama 939-0398*

(Received 14 March 2005 ; Accepted 13 May 2005)

Abstract

High concentrations of calcium ion were measured in fog water near the summit of Mt. Norikura in July 1994. The fogs were not acidified. A backward trajectory analysis showed that the air sampled at Mt. Norikura originated from the arid regions of the Asian continent. The influence of background Kosa on chemical compositions in the fog water during the summer was discussed.

2005年度「朝日賞」の候補者推薦募集

標記の賞について、(財)朝日新聞文化財団から受賞候補者推薦の募集がありました。気象学会では、7月末～8月初めに「学会外各賞推薦委員会」を開催して学会としての推薦者を選考する予定ですが、学会以外からの推薦も可能です。詳しい資料と推薦用紙は気象学会事務局にあります。

1. 対象 : 人文や自然科学など、わが国のさまざまな分野において傑出した業績をあげ、文化、社会

の発展、向上に多大な貢献をされた個人または団体。

2. 推薦締切 : 2005年8月31日(水)

3. 問い合わせ先 :

〒104-8011 東京都中央区築地5-3-2

朝日新聞社事業本部

メセナ・スポーツ部「朝日賞」係

電話 : 03-5540-7453, Fax : 03-3541-8999