

小笠原諸島における年輪気候学研究の可能性について

庄 建 治 朗 (名古屋工業大学都市社会工学科)

カズメル ミクロシュ (エトヴェシュ大学理学部、ハンガリー)

要 約

小笠原父島において、過去の気候変動の復元に利用できる樹木年輪クロノロジーの作成を目指し、シمامロを対象樹種として標本採取と成長輪の分析を行った。シمامロは成長が非常に遅く、採取した標本の成長輪数は最大のもので200層近くあり、平均的な成長輪幅は1mm程度ないしそれ以下のものが多かった。また、成長輪の形状は非常に不規則で、成長輪境界の不明瞭なものも多く見られ、シمامロの休眠期は必ずしも顕著ではないと推測される。さらに、樹皮直下の最外成長輪の観察から、3月が成長期の前期に、5月が早材形成期の後期にあたることが示唆された。これらのことから、夏と冬の年2回の乾燥期がシمامロの休眠期に対応している可能性が考えられる。

I. はじめに

樹木の年輪は、過去の気候変化をはじめ、大気汚染、山火事、地震や雪崩の履歴の復元、遺跡の年代決定など、様々な分野の研究に応用されている。その際には、ある範囲内に生育する樹木の成長は年毎に変化する広域的な環境要因（気候など）に共通して影響されているとの前提の下に、現生木など年代が既知の標本と未知の標本との間で年輪パターンを照合し、それを繰り返すことによって長期間にわたるその地域の代表的な年輪パターンを得るクロスデーティングと呼ばれる手法が基本原理となっている（Fritts, 1976）。

樹木年輪年代学は、20世紀前半期にアメリカ合衆国西部の乾燥地域で創始され、次いでヨーロッパやアメリカ東部などの温帯地域にも適用されるようになった。そして年輪幅などの情報を過去の気候の復元に利用する年輪気候学の手法は、乾燥地域や高山・極地域など、特定の季節の降水量や気温など単一の気候要素が樹木の成長を大きく制限する地域において盛んに用いられてきた。一方、日本においては、気候が温和で樹木の成長期に適度な気温と降水量があることから、樹木の成長を制約する気候要因が複雑・多様で、広域に共通する年輪パターンを見出すことは難しいと従来考えられてきた。しかし、1980年代に入って、日本でもクロスデーティングが広く成立することが確認され、それ以降年輪年代

学研究が本格的に行われるようになった（奈良国立文化財研究所、1990）。さらに熱帯・亜熱帯地域においては、気候の季節変化が明瞭でなく、とりわけ樹木の成長が停止する休眠期が毎年定期的に訪れるとは限らないことから、クロスデーティングを行うことは非常に困難と考えられ、年輪年代学の対象とは長年なっていなかった。しかし、近年になって、樹木セルロースの安定同位体比（炭素、酸素等）を高時間分解能で測定するなどの新しい手法により、年輪幅パターンの照合が不可能な場合でも標本の年代確定ができる可能性が見出され、東南アジアを中心に熱帯・亜熱帯域を扱う年輪年代学者は増加しつつある。

小笠原諸島は、北西太平洋中に孤立した島嶼群である。上述の歴史的経緯から、樹木年輪の暦年データ（クロノロジー）は、北アメリカやヨーロッパの高緯度域などに集中しており、アジアなど他の地域は近年増えているもののまだまだ不十分である。また、樹木の生育は陸上に限られることから、大陸から離れた海洋域の樹木年輪データはさらに貴重である。

樹木年輪と並び、高時間分解能（年～季節単位）での過去の環境変動の復元が可能な資料としてサンゴ成長縞がある。小笠原諸島でも沿岸にサンゴ礁が発達しており、父島ではサンゴ礁から採取されたコア標本の酸素安定同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ ）やストロンチウム／カルシウム比（ Sr/Ca ）、ウラン／カルシウム比（ U/Ca ）を用いて19世紀後半以降の海水温や塩分濃度の変動を復元する研究が行われている（Felis *et al.*, 2009；Felis *et al.*, 2010）。このように、樹木年輪とサンゴ成長縞の双方の資料が得られる可能性のある地域は限られており、小笠原諸島、とりわけ父島において陸上の環境変動を反映する樹木年輪の暦年資料が得られれば、海洋の環境変動を反映するサンゴ成長縞のデータと照合あるいは併用することにより、過去の大気・海洋環境の変動を復元するのにさらに高品質で有用な資料となることが期待される。

上記のような観点から、著者らは小笠原における樹木年輪クロノロジーの確立を目指し、標本の採取・分析を行っている。本稿ではその初期的結果を報告する。

Ⅱ. 材料と方法

1. 対象樹種

著者らは、父島及び母島で様々な樹種を調査した結果、明瞭で多数の成長輪をもつシマムロ *Juniperus taxifolia* Hook. *et* Arn. を本研究の対象樹種として選んだ。

シマムロは、小笠原諸島の固有種であり、在来種では唯一の針葉樹である。乾性低木林を構成する代表的樹種であり（清水、2008）、尾根上の土壌の浅い場所や強風に曝される場所では匍匐状に成長するが、生育に適した条件下では3m程度の高さに達することもあ

る。材は芳香性を有し、樹脂を多く含む。ヒデノキ（火出の木）とも呼ばれ、かつては燃料用として盛んに利用されたため個体数が減少し、現在は環境省レッドリストで絶滅危惧II類（VU）に指定されている。

また、リュウキュウマツ *Pinus luchuensis* Mayr は、父島において以前から年輪調査が行われており（矢加部・岡、2007）、本研究でも試行的な標本採取を行った。リュウキュウマツも明瞭な成長輪をもち、シمامロと比較して格段に成長が早いため、成長輪の識別は比較的容易と考えられる。但し、明治時代後期以降の移入種であるため、19世紀まで遡る年輪クロノロジーは得られない。

なお、オガサワラグワ *Morus boninensis* Koidz. は、2千以上の成長輪を有する個体もあるとされ、非常に長期の年輪クロノロジーが得られる可能性を秘めているが、現存する個体数が極めて少なく標本収集が容易でないこと、また成長が非常に遅いため成長輪の判別や計数に困難が予想されることから、今回は調査対象に含めなかった。

2. 調査地と調査方法の概要

サンプリングは、2006年5月11～18日及び2010年3月10～12日の2回にわたって行った。採取地は、父島においてシمامロの自生が見られる、電信山歩道周辺と旭山、傘山、初寝山、高山の5箇所である（図1）。これらは何れも、尾根筋あるいは山頂付近の土壌の浅い乾燥地に位置する。これらシمامロ自生地では、過去に燃料用に伐採されたと思われる切り株が散見されるため、それらからノコギリにより円盤標本を採取した。また、現生木については、樹幹部分の1～2方向から成長錐により棒状標本を採取した。円盤標本は17個体から、棒状標本は34個体から合計42方向の試料を得た。

採取した標本は、棒状標本については接着剤でベースに固定した後、サンドペーパーを用いて粒度#1500まで研磨し、木口面の表面が細胞まで明瞭に見えるようにした。そして双眼実体顕微鏡（Nikon SMZ800）を用いて表面を観

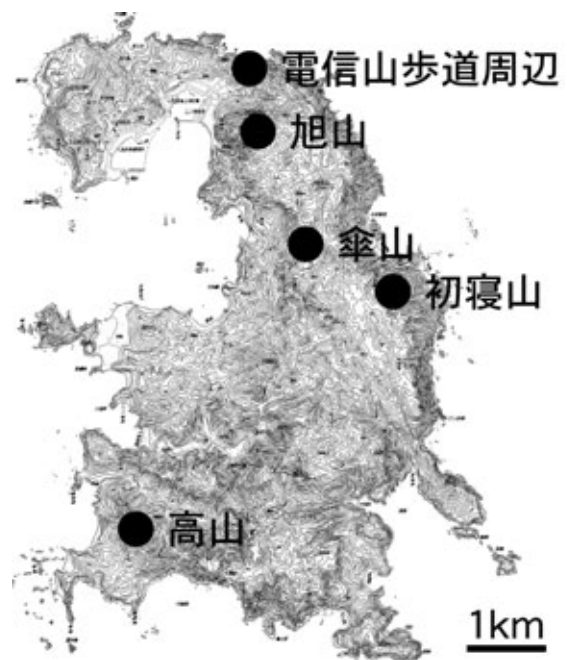


図1 調査地位置図

察し、成長輪を計数するとともに、年輪幅測定器（司技研製）により0.01mm単位で成長輪幅を測定した。写真撮影には双眼実体顕微鏡に装着したデジタルカメラ（Nikon COOLPIX8400）を用いた。

Ⅲ. 結果と考察

1. 成長輪計数結果

採取したシマムロの円盤標本のうち、2個体についての写真を図2に示す。円盤標本で木口断面を観察した結果、シマムロは非常に成長が遅く、成長輪は同心円状ではなく極め

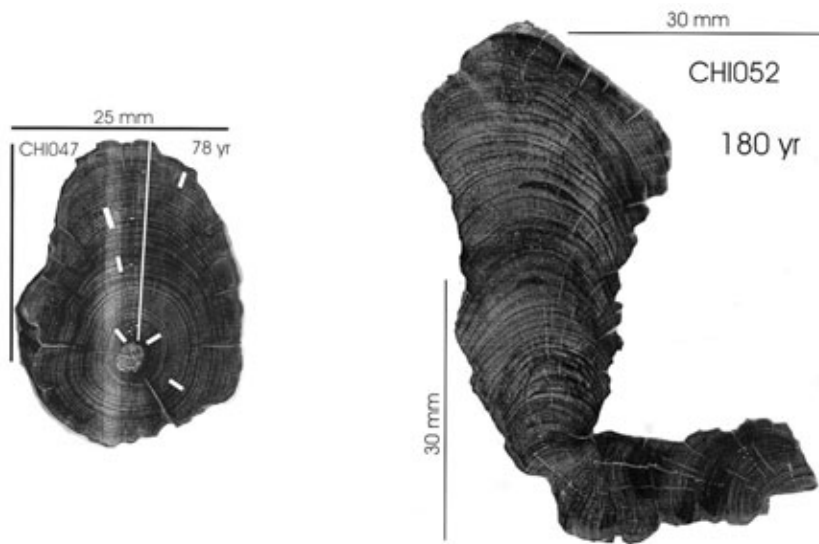


図2 シマムロ円盤標本の例

表1 各標本の成長輪数と平均成長輪幅

標本名	標本形態	確認した成長輪数	測線長 (cm)	平均成長輪幅 (mm)	標本名	標本形態	確認した成長輪数	測線長 (cm)	平均成長輪幅 (mm)
CHI002	棒状	102	5.3	0.5	CHI031	棒状	164	9.0	0.5
CHI004	棒状	33	2.7	0.8	CHI035	棒状	47	5.1	1.1
CHI009	棒状	113	4.5	0.4	CHI037	棒状	20	2.2	1.1
CHI010	棒状	61	3.6	0.6	CHI038	棒状	44	5.7	1.3
CHI011	棒状	47	3.2	0.7	CHI039	棒状	42	7.1	1.7
CHI012	棒状	90	5.9	0.7	CHI040	棒状	46	5.8	1.3
CHI015	棒状	98	13.0	1.3	CHI046	棒状	78	8.2	1.1
CHI016	棒状	40	4.0	1.0	CHI047	円盤	78	2.3	0.3
CHI017	棒状	72	5.7	0.8	CHI052	円盤	180	7.7	0.4
CHI018	棒状	64	3.2	0.5	CHI216	棒状	34	4.5	1.3
CHI019	棒状	110	12.3	1.1	CHI226	棒状	22	3.2	1.5
CHI020	棒状	50	7.0	1.4	CHI227	棒状	18	4.5	2.5
CHI023	棒状	51	6.6	1.3	CHI228	棒状	100	6.8	0.7
CHI024	棒状	124	9.0	0.7	CHI229	棒状	15	7.4	4.9
CHI025	棒状	47	4.2	0.9	CHI230	棒状	17	2.4	1.4
CHI028	棒状	66	6.3	1.0					

て不規則であることが分かった。また、樹幹の形成層のうち大部分が途中で活動停止し一部分のみが成長を続けているような個体もしばしば見られた。その場合、樹幹断面は図2右 (CHI052) のように極端な異形を呈することになる。

表1は、採取した標本のうち成長輪を計数できたものについて、成長輪数と平均成長輪幅をまとめたものである。得られた標本は、樹芯から樹皮までの長さが最大でも10数cm程度で、成長輪数は最大で200層近いものもあり、平均的な成長輪幅は1mm程度ないしそれ以下のものが多かった。もし成長輪が年輪であれば、調査地にはかなり古い時期に伐採されたと思われるシママロ切り株で200前後の成長輪を持つものが散見されたため、クロスデーティングに成功すればかなりの長期にわたる年輪クロノロジーが得られる可能性がある。

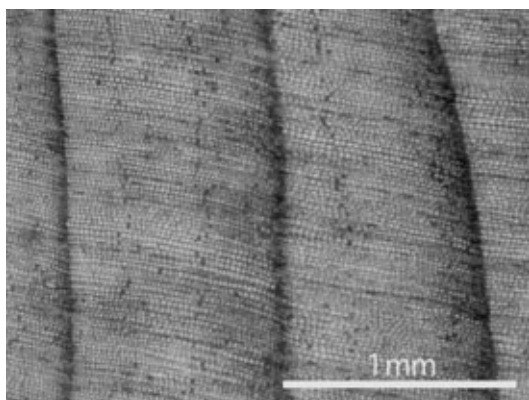


図3 不明瞭な成長輪境界 (中央)

左右の成長輪境界のように早材形成が急激に始まらず晩材から早材へと連続的に移行している。成長方向は左から右。

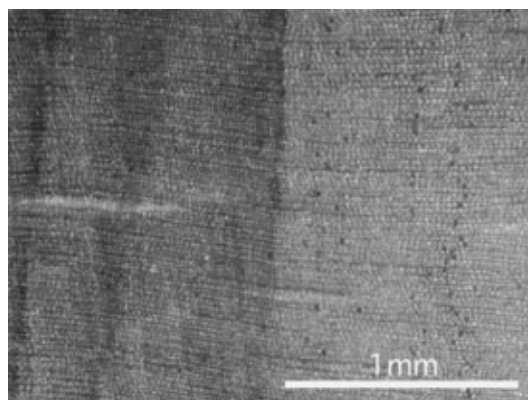


図4 途中で消失している成長輪境界 (中央)

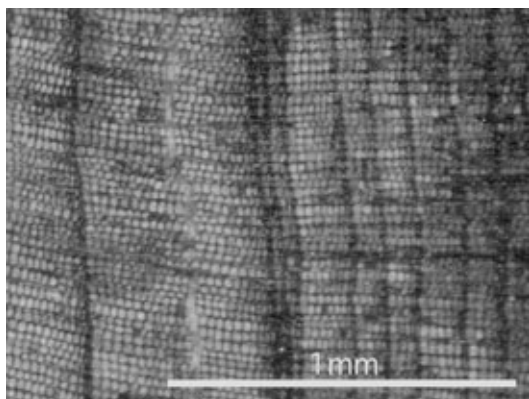


図5 非常に狭小な成長輪 (中央)

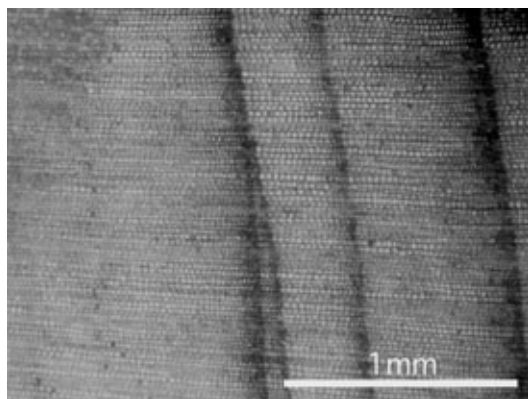


図6 楔状に消失している成長輪 (中央)

但し、標本の中には、成長輪境界が不明瞭なもの（図3）や全周にわたっておらず途中で消えているもの（図4）、非常に狭小な成長輪（図5）や楔状に途中で消失している成長輪（図6）なども多く含まれ、成長輪の識別・計数の困難な場合も少なくなかった。図7は、現生木で異なる2方向から樹皮を含む標本が得られた5個体について、樹皮から内側へ20層目までの成長輪幅を個体毎にグラフにしたものである。5個体中4個体（CHI024以外）では、樹皮から5～8層目あたりまでは同一個体内の2測線間で成長輪幅の変動パターンが比較的類似しており、その内側では類似度は低くなっている。このことは、樹皮のすぐ内側では2測線間で成長輪の暦年が一致しているが、5～8層目のあたりに偽年輪又は不完全輪などがあり、その内側では両測線の暦年がずれていることを窺わせる。即ち、シマムロでは偽年輪や不完全輪などが数層の成長輪の一つ程度含まれていることが推測され、年輪クロノロジー作成のためにはそれらを一一つ特定していかなければならないという困難が生じる。異なる個体間での成長輪幅の照合はさらに困難である。

2. シマムロの成長・休眠期

亜熱帯地域では、冬季でも樹木が成長を停止し休眠するほど気温が低下しないことが多い。それ故、亜熱帯地域において樹木に年輪のようなものが見られる場合には、それがどのような気候条件で形成されるのかを慎重に検討し、毎年1層ずつ規則的に形成されていない可能性についても留意する必要がある。小笠原諸島のシマムロについても、前節で述べたとおり成長輪が不規則に形成されている可能性があり、その成長・休眠期についての検討が必要である。

本研究では、3月中旬（2010年）と5月中旬（2006年）の2回にわたってサンプリングを行ったため、それぞれの時期に現生木から採取した標本の最外成長輪（樹皮の直下）の状態を観察した。まず3月に採取した標本については、樹皮を含む標本は8個得られたが、うち6個では樹皮のすぐ内側に早材が認められた。これは、標本を採取した3月中旬の時点で試料木は早材形成期間中であったことを意味している。またその多くは、図8に示すように直前の成長輪境界から樹皮までの早材幅が狭く、標本採取時点で成長期の開始からあまり時間が経っていなかったことを窺わせる。次に5月に採取した標本については、樹皮のある標本15個のうち13個で樹皮のすぐ内側に早材が認められ、5月中旬の時点でも試料木が早材形成期にあったことが示唆される。但し、3月採取の標本とは異なり、多くの標本では図9に示すように最外成長輪の早材形成がかなり進んでいた。

以上から、少なくとも3月中旬から5月中旬にかけての期間は、シマムロの成長期（早材形成期）に属するものと考えられる。また、3月は成長期前期に、5月は早材形成期の後

期にあたる可能性が高い。

一方で、多くの標本では、図3に示したような不明瞭な成長輪境界が散見された。これは、晩材形成期後の休眠が顕著でなく、晩材形成期から次の早材形成期へと連続的に移行したことを意味している。シマムロの休眠期は安定しておらず、条件によってはほとんど休眠しない場合もあると考えられる。これらのことと、父島には夏季と冬季に顕著な乾燥期がある（吉田ほか、2006）ことや、シマムロの生育地が土壌の浅い乾燥しやすい条件にあることも併せ考えると、この年2回の乾燥期がシマムロの休眠期に対応している可能性も考えられる。この点については気象データとも照合しながらさらに検証していく必要がある。

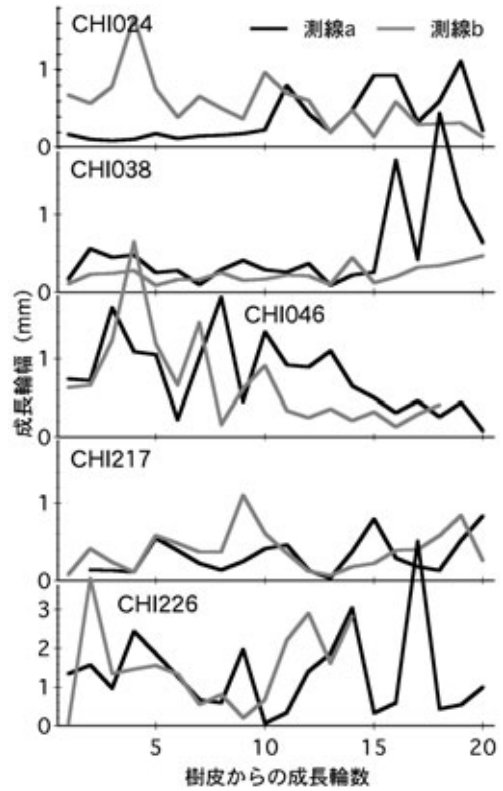


図7 測線間の成長輪幅の比較

IV. まとめ

小笠原諸島父島において、樹木年輪クロノロジーの作成を目指し、シマムロの標本採取と成長輪分析を行った。採取した標本の成長輪数は最大のもので200層近くあり、クロスデーティングが成立すれば長期の年輪クロノロジーが得られる可能性がある。しかし、シマムロの成長輪は非常に不規則であり、成長輪境界の不明瞭なものや、極狭小な成長輪、

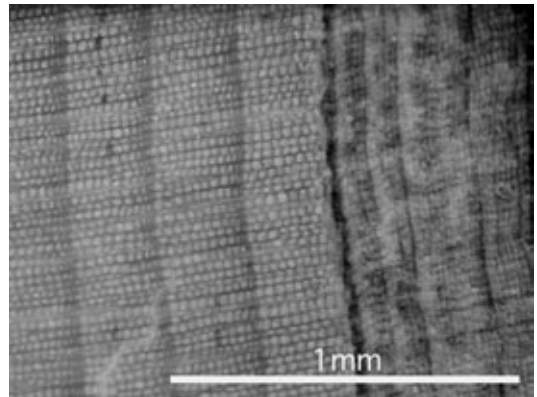
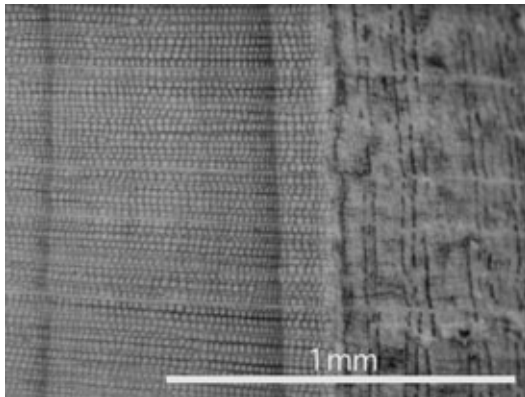


図8 3月に採取した標本の最外成長輪(中央) 図9 5月に採取した標本の最外成長輪(中央)

楔状に途中で消失している成長輪等が多く見られ、異なる個体間での成長輪パターンの照合はできなかった。樹皮近くの数層についてのみ、同一個体内の2測線間で成長輪幅パターンの類似性が認められたことから、偽年輪や欠損輪等がかなり高い頻度で出現し、成長輪と暦年との対応づけを困難にしていると考えられる。また、樹皮直下の最外成長輪の観察から、3~5月の期間はシママロの成長期（早材形成期）に属し、夏と冬の年2回の乾燥期が休眠期に対応しているが、休眠は必ずしも顕著でない可能性が示唆された。

以上の結果から、父島における年輪クロノロジーの作成にはかなりの困難が予想される。まずは、季節を変えたサンプリングや、デンドロメータや樹木セルロースの安定同位体比測定などの手法も援用するなどし、シママロの成長期と休眠期を明らかにしていきたい。また、リュウキュウマツについても分析を進め、20世紀以降の気候復元やサンゴ成長編データとの照合に利用できればと考えている。

謝辞

小笠原総合事務所国有林課、東京都総務局小笠原支庁土木課自然公園係、及び環境省小笠原自然保護官事務所には諸手續等で便宜を図っていただいた。また、小笠原自然文化研究所 堀越和夫氏、小笠原野生生物研究会 安井隆弥氏、横浜国立大学教育人間科学部 吉田圭一郎准教授と駒澤大学総合教育研究部 清水善和教授には現地調査に際して大変お世話になった。深く感謝申し上げます。

文 献

- Felis T, Suzuki A, Kuhnert H, Dima M, Lohmann G & Kawahata H (2009) Subtropical coral reveals abrupt early-twentieth-century freshening in the western North Pacific Ocean. *Geology* 37: 527-530.
- Felis T, Suzuki A, Kuhnert H, Rimbu N & Kawahata H (2010) Pacific Decadal Oscillation documented in a coral record of North Pacific winter temperature since 1873. *Geophysical Research Letters* 37: L14605, doi:10.1029/2010GL043572.
- Fritts HC (1976) *Tree Rings and Climate*. Academic Press. 567p.
- 奈良国立文化財研究所 (1990) 年輪に歴史を読む - 日本における古年輪学の成立 -. 奈良国立文化財研究所学報 第48冊、195p.
- 清水善和 (2008) 小笠原の「乾性低木林」とは何か. 小笠原研究年報 31: 1-17.
- 矢加部友・岡 秀一 (2007) 小笠原諸島父島におけるリュウキュウマツ個体群の動態と生育環境. 小笠原研究年報 30: 21-28.

庄・カズメル：小笠原諸島における年輪気候学研究の可能性について

吉田圭一郎・岩下広和・飯島慈裕・岡 秀一（2006）小笠原諸島父島における20世紀中の
水文気候環境の変化．地理学評論 79: 516-526.