

Clark, K., Cochran, U. and Mazengarb, C., 2011.

Holocene coastal evolution and evidence for paleotsunami from a tectonically stable region, Tasmania, Australia.

The Holocene, 21(6) 883–895

地殻変動的に安定な地域のタスマニア島(オーストラリア)における完新世の海岸の発達と古津波の証拠

## 要約

タスマニア島南東部の3つの海岸水域における層序学的調査は、海水準変動に関連した大規模な古環境変遷と津波の浸入による異常堆積物を明らかにする。22本の短い堆積物コアについて、堆積相と珪藻・有孔虫化石、大型化石群集の解析を行い、9つの放射性炭素年代を得た。地点ごとに異なる完新世の歴史の変遷があるにも関わらず、完新世の古環境変遷は4つの共通したフェーズに分けられる。フェーズI(8000 yr BP以前)は陸の環境だった。フェーズIIの期間(8000~6500 yr BP)は、海進性の沿岸のバリアの背後の池に、淡水環境が形成された。フェーズIII(6500~2000 yr BP)では、各地点は様々な程度で海洋の影響を被り、海流が流れ込む潮流口から、保護された汽水~海水のラグーンまでの環境があった。フェーズIV(2000 yr BP~現在)では、海洋の影響が減少し、1地点では淡水の湿地環境に変化した一方で、他の2地点は不安定な塩田に変化した。本研究は、タスマニア島南東部において、約7300 cal. yr BP以後、後氷期の海水準上昇が最高となり、おそらく後期完新世に海水準が下がったことを示唆する。これらの古環境の歴史は、異常堆積物を特定し、それらの適切な原因を評価するための枠組みを提供する。5つの異常堆積物が特定され、そのうち3つは、約4000 cal. yr BP, 2000 cal. yr BP, <2000 cal. yr BPに発生した津波により堆積したと考えられるが、巨大な高潮による堆積を除外できない。

## 序

最近の大津波(例えば、2004年のインド洋の津波)は、かなり遠方にありかつ構造的に安定と考えられている場所以外の海岸線への津波に対する脆弱性を強調した。オーストラリアは、構造的にはそれほど活動的ではないが、大津波の起源地域である沈み込み型プレート境界に面した長い海岸線を有している。特に、タスマニア島は様々な起源の津波にさらされる。例えば、東部の海岸は、ニュージーランド南西海岸のPuysegur沈み込み帯で発生した津波に特に弱い(Figure 1A, Lebrun *et al.*, 2000; Melhuish *et al.*, 1999)。10回の津波が、有史時代西暦1788年以後)にタスマニア島に到達したことが知られており、その中で最大のもの

が、ホーバートでは高さが 0.32m だった(Fig. 1B Dominey-Howes, 2007)1960 年のチリ津波だが、タスマニア島の歴史記録の中でかつて対象となった研究が完了すれば、さらに（その実態は）明らかになるだろう。有史以前の記録については、タスマニアには公表された記述はない。

タスマニア島には古津波の記録が現在ないが、ホーバートの北東 600~1500 km に位置するニューサウスウェールズの南東海岸に沿いには、古津波の証拠を示す種々の記録がある（例えば、Bryant and Nott, 2001; Bryant and Young, 1996; Bryant *et al.*, 1992, 1996）。この海岸沿いの「巨大津波」の証拠の多くについては議論が続いているが(Hutchinson and Attenbrow, 2009 を参照)、もしそのような巨大津波が発生した場合、典型的には津波の起源は遠方と考えられるため、広範囲に影響が及ぶと予測される。タスマニア島のように、オーストラリアの海岸に沿いの（津波の起源から）さらに離れた地点から古津波の記録を得ることは、いくつかの議論の解決に役立つだろう。

有史以前の津波記録を確立し、それによって特定の地域における津波の危険性の評価を改善するために幅広く用いられている方法の 1 つは、沿岸湿地の地質記録中にある津波の浸水の堆積学的証拠を記載することである（例えば、Clague, 1997; Cochran *et al.*, 2005; Nanayama *et al.*, 2003; Nelson *et al.*, 1996）。タスマニア島の南東海岸は豊富な沿岸水域を有するが、これらの地域で行われてきた研究は比較的少ない。これらの地域における完新世の変化(堆積環境の変遷)の基本的理解の欠落が、異常あるいは極端なイベントを地質記録から識別することを困難にしている。したがって、タスマニア島南東部の古津波記録を編さんするにあたり、3 つの沿岸地域における完新世の古環境の歴史を引き出すことに重点を置いた。古環境の歴史は、古津波の保存にとって、どの地点および期間が最適であるか、また古津波の存在を示す証拠があればそれは何か、を決定するために用いられた。

## 方法

### コア採取

本研究は、ホーバート近辺に焦点をあてる。ここはタスマニア島の主要な人口中心地で、将来津波による被害が懸念される最大の地域である。古津波記録を発見できる可能性を最大限にするため、多様な海岸形態を持つ水域タイプを有する地点を選んだ。3 つの地点では、コアを海岸線に平行および垂直方向に採取した(Figure 2)。全地点において、深さ 2~3m まで掘れば、現在から初期完新世の 8000~9000 yr BP までさかのぼってサンプリングするのに十分であった。コアは、Tratt and Burne (1980)により改良されたダブルチューブ手動操作型コアリング装置を用いて採取した。いくつかの場所では、掘削深度を増加するために gouge コアリングを用いた。

## 測量

コアの標高と砂丘の高さは、平均潮位(MTL)に基づいて調査した。誤差は、測定と平均潮位の修正に関する不確実性を考慮し、各標高値について以下のように計算した：標高の誤差  $=\sqrt{(L^2 + M^2 + S^2)}$ 、 $L$ は水準測量の誤差( $\pm 0.1$  m)、 $M$ は平均高潮線の修正評価についての誤差(地点によって $\pm 0.1\sim 0.28$  m)、 $S$ は平均高潮線から平均潮位への修正上の誤差( $\pm 0.1$  m)である。平均潮位に対する全ての標高値は、誤差の合計が $\pm 0.31$  mより小さい。

試料の標高は、堆積物の圧縮や地盤の隆起に関しては修正していない。コアは概して短く、硬く圧縮されない砂まで届いているので、堆積物の圧縮は無視できると推定される。地盤の隆起についても、この地域でそのような運動の証拠はほとんど示されていないため無視できると考えられるが、(その可能性を)完全に排除することはできない。ホーバートの南南東 10 km にあるマリアン湾には、最終間氷期( $\sim 125$  ka)の海岸線と推定されるものがあり、 $0.15$  mm/yr という低速の隆起を示す(Murray-Wallace and Goede, 1991, 1995)が、この隆起のメカニズムは不明である。

## 層序と微化石分析

堆積学的記載は全コアについて、視覚評価で記録し、センチメートルスケールで詳細に記述したが、ここではコアを手短かに示す。本研究で用いた化石群集は、軟体動物、有孔虫、珪藻である。重さ  $8\sim 15$  g の合計 29 試料を、底生有孔虫の分析用に選んだ。十分な量の有孔虫が存在する場所で、粒径  $63\ \mu\text{m}$  以上の部分から約 100 個体を同定した(Appendix 1, available online; Albani *et al.*, 2001)。合計 35 試料について、珪藻の割合を調べた。試料は temporary water mounts 上で化学的・物理的処理なしに分析した。珪藻の殻は、珪藻群集に関する標準的な参考文献(例えば, Hartley, 1996; Krammer and Lange-Bertalot, 1991, 1999a, b, 2000; Witkowski *et al.*, 2000)を用いて各試料について同定した。珪藻群集は、塩分や潮位の定量的評価というよりは、古環境についての幅広い理解を補助するために用いることで、古環境の定性的評価が進展した(Appendix 2, available online)。

## 放射性炭素年代測定

放射性炭素年代測定は、泥炭層、木炭片、保存の良い貝破片および完全な貝殻で行った。conventional 放射性炭素年代は、McCormac *et al.* (2004)による SHCal04 較正曲線、もしくは Hughen *et al.* (2004)による Marine04 較正曲線を用いて較正した。タスマニア島の海水について計算された平均  $\Delta R$  値が無いので(Ulm, 2006), default laboratory value の  $-30 \pm 13$  年を貝試料の較正に用いた。本文中の全ての年代を cal. yr BP で示す。

## 結果

### South Neck Beach

サウスネック海岸は、長さ 5 km のトンボロの南端にあるブルニー島に位置する。この海岸は東に向いており、完全に大洋にさらされている(Figure 1B)。トンボロの西側には、保護された浅い湾であるシンプソン湾がある。シンプソン湾とサウスネック海岸の現世の砂丘の間には、残存する砂丘によって離された幾つかの湿地帯が存在する。現在の砂丘は、幅数百メートルで、平均潮位より 2.3~3.2 m 上にある。野外研究は南部にある最大の湿地に集中させた(Main Wetland, Figures 2 and 3)。春にサイトを訪れた際、湿地の水深は約 10~15 cm で、表面に淡水湿地性の植物が繁茂していた。

メイン湿地の全コアの基底に、暗茶から黒色の非常に圧縮された砂層がみられた(Figure 3)。コア SNB-2 では、この層のトップ付近の木炭片は 8404~8293 cal. yr BP の年代を示した(Table 1)。黒色砂は貝殻や有孔虫を含まないが(Appendix 1, available online)、珪藻試料には部分的に溶解された *Paralia sulcata* の殻が見られた(Appendix 2, available online)。*P. sulcata* は厚い殻を持つ丈夫な珪藻で、堆積物が運搬や長期間の風化を受けた際にしばしば群集の中で唯一残る種である (Denys and de Wolf, 1999)。このユニットは陸成堆積物—おそらくは風化された砂丘の砂—と解釈される。その様々な標高は、先在する砂丘の地形を反映している。部分的に溶解された汽水~海水生の珪藻 *P. sulcata* の存在は、近くの海洋環境からの運搬によると思われる。コア SNB-2, SNB-3 および SNB-5 の黒色砂は、所々で有機物片を伴うシルト質細粒砂に覆われ、このシルト質細粒砂も陸生の堆積物と解釈される。

全コアにおいて、陸成堆積物より上位の、深度約 0.4 m までの部分は、貝殻や貝殻片を含むシルト・粘土および砂のユニットから成る。ほとんどのユニットは、豊富で保存の良い汽水~海水生の珪藻群集と潮間帯の有孔虫を含んでいる。これらの貝殻を含むユニットは、潮流口内での海洋堆積作用の期間を示している。より細粒の堆積物はおそらく、入江のより波から保護された部分を表すのに対し、分級の良い砂は、海流に洗われる場所または潮汐チャンネルを表す。放射性炭素年代は、潮流口における堆積が約 6314~6155 cal. yr BP から始まり、少なくとも 2776~2675 cal. yr BP まで続いたことを示す。

海洋堆積物の厚さ 0.5~1.5 m のシーケンス内に、いくつかの顕著なユニットが認められる。SNB-6 の深度 0.65~0.55 m は上方細粒化する中粒砂で、貝殻、汽水生の微小軟体動物、汽水~海水生の珪藻、陸性有機物片を含む。これは、上下の細粒な堆積物よりも高エネルギーな堆積環境を示している。コア SNB-2, SNB-3 および SNB-5 で、明確に区別される *Ostrea angasi* (southern mud oyster) の層が、深度~0.7 m において 3 つのコア間で対比できる(Figure 3)。コア SNB-2 のカキ層から、4218~3970 cal. yr BP という放射性炭素年代が得

られた(Figure 3; Table 1). カキの貝殻周辺の砂にみられる微化石群集は、潮間帯環境での堆積を暗示する。これは、低～中エネルギー環境の低潮線以下に典型的に生息するカキの生息深度と合理的に一致する。しかし、そのカキ層の異常な特徴は、貝殻が破片の状態で産出すること、各コアで堆積物の粒径が異なること、そして入江の中で最も波から守られた場所と考えられる地点のユニットが最も粗粒なこと(SNB-5)、である。これらの特徴から、カキ層(貝殻と堆積物)が、その場で形成されたというよりはむしろ入江に運び込まれたと考えられる。もう一つの異常な層は、コア SNB-2 の深度 0.6～0.45 m にみられる貝殻混合ユニットである。貝殻混合層の軟体動物群集は、非常に浅い水域の軟らかい堆積物の平地で外洋より著しく低塩分な環境で、比較的寒冷なオーストラリア南部の、潮流口または庇護された湾の奥部に特徴的なものである(A. Beu, personal communication, 2007). この貝殻混合ユニットは、入江内の砂州に堆積したか或いは、粗粒な潮汐チャネルのラグ堆積物であると思われる。コア SNB-2 と SNB-3 では、貝を含まない、厚さ 0.15m の粗粒な明灰色の分級の良い砂ユニットが、潮流口堆積物を覆っている。この粗粒なユニットは、高エネルギーの流入もしくは潮汐チャネルを示していると考えられる(Figure 3).

メイン湿地の全コアのトップには、厚さ 0.4～0.2 m の泥炭層があり、この泥炭は淡水環境を裏付ける珪藻を含む。放射性炭素年代は、2776～2675 cal. yr BP と 1307～1242 cal. yr BP の間のいずれかに泥炭の堆積が始まったことを示す(Figure 3, Table 1).

## South Arm

サウスアーム海岸はストーム湾奥部にある。この海岸は南西を向いており、ハーフムーン湾へ開いている(Figure 1B). この地点には、平均潮位上 2.6～5.3m の標高に位置する砂丘の狭いバリアの背後に 2 つの盆地(塩水低地)がある(Figure 2B). 長さ 1.5～2.5m の 7 つのコアがサウスアーム塩水低地から採取され、そのうち 5 つは SAS(SAS-1～SAS-5)から、2 つは SAG(SAG-1 と SAG-2)からである(Figures 2B and 4).

SAS 盆地の全コアの基底に、均質な細粒から中～細粒砂のユニット(原文は Homogenous fine to medium-fine sand units) がみられる(Figure 4). 砂のユニットは、所々に有機物片や木片を含み、海洋環境を示すものはない。砂はおそらく陸のもので、河川もしくは風成起源である。これらの砂のトップには、SAS 盆地の全コア間で対比できる明瞭な有機質黒色層がある(Figure 4). 木片とカタツムリの殻は、これが陸のユニットであることを示しており、それは盆地の中央付近に淡水の池または湿地が存在したことを意味し、その最も標高の低い場所に泥炭がみられる。SAG 盆地において、この泥炭層に対比される層の年代は、7256～7424 cal. yr BP である(Figure 4).

最も海側のコア(SAS-5, SAS-4 および SAS-1)において、黒色有機物層の上位に 0.1～0.3m

のシルトまたは砂のユニットがある(Figure 4)。これらのユニットはコアの中で唯一海生の貝殻片を含み、これはおそらく盆地の歴史の中で外洋と直接つながりがあった唯一の期間を示している。

コア SAS-2 と SAS-3 における黒色有機物層の上位で、他のコアにおける海生シルトと砂のユニットの上位には、薄い(ミリメートルスケールの)ラミナを持つ粘土で盆地全体に広がる明瞭なユニットがある。粘土の中に散在する微小軟体動物は *Coxiella badgerensis* で、塩性の湖や汽水性の潟に一般的な種である。粘土の薄いラミナは、潮流のない潟のような、波から守られた静かな堆積環境を示している。SAS-4 と SAS-1 のラミナを持つ粘土からの 2 つの微化石試料は、汽水～海水の塩分の指標である珪藻群集を高密度で産するが、外洋環境を示す証拠はない(Appendix 2, available online)。コア SAS-1 の泥炭質粘土のラミナから、4412～4145 cal. yr BP の放射性炭素年代を得た(Figure 4; Table 1)。

コア SAS-2 と SAS-4 のラミナを持つ粘土の上位、コア SAS-5, SAS-3, SAS-1 のシルト質細粒砂の上位には、盆地全体で、ほとんど白色の非常に明るい灰色でラミナのない粘土とシルトへの移行がみられる。微小軟体動物 *C. badgerensis* と特定の珪藻群集の高い密度(Appendix 2, available online)は、この期間、盆地が汽水～海水環境であったことを示す。白色は高い塩分によるものと考えられるので、これらの白いユニットは塩水低地の堆積物と解釈される。

SAS-4 と SAS-1 の塩水低地堆積物中には、大量の *C. badgerensis* と潮間帯の有孔虫群集を含む(Appendix 1, available online)、厚さ<0.15m の細粒および中～粗粒砂がみられる。これらの砂層は、塩水低地の環境では異常なものであり、潮汐チャネルもしくはこの地点への粗粒な物質の流入を示すと考えられる。

SAS 盆地の全コアのトップで、白～灰色の粘土から灰～褐色の粘土へと移行する。このより有機質な粘土は、森林の開拓や排水の変化のような近年人間が引き起こした変化に関連すると考えられる。

SAG 盆地の古環境記録は、SAG 盆地の堆積物が概してより粗粒であることを除けば、SAS 盆地のものと同様である。SAG 盆地は、外洋とより直接的なつながりがあったと思われる。それはおそらく、断続的に活発になる潮汐チャネルを伴う汽水～海水の潟であった。SAG の両コアの深度 0.5m には、厚さ約 0.3m の上方細粒化する中～細粒砂のユニットがみられる。これらの砂は、ミリメートルスケールの貝殻片、多くの *C. badgerensis* を含み、トップの付近には、ラミナが変形せずに残った粘土から成る小さな偽礫を含む。これが現地性の堆積物だった場合、例えば、長期的に開かれた潮流口のように、サウスアーム盆地の他の場所に見られたものよりも高エネルギーかつより海洋的な環境であったことを示す。しかし、このユニットが運搬されてきた可能性を示唆する 2 つの特徴がある。第一に、上方細粒化の

構造は、水柱で起こる一度の堆積（原文は one-off deposition）の特徴である。第二に、ユニットのトップ付近にある粘土の偽礫を最も簡潔に説明するのは、リップアップクラストとすることであり、供給源からの浸食と砂との堆積をもたらす運搬メカニズムが必要である。

## Primrose Beach

プリムローズ海岸は、フレデリック・ヘンリー湾の奥部にあり、南西に向いている(Figure 1B)。この地点には、2つの後背バリア盆地 PS と PSS がある(Figure 2C)。これらの盆地は、道路の建設以前から存在していた細長い海岸に平行な 0.5m の地形的高まりによって分離されており、かつては北西端の小さな流路でつながっていた。PSS 盆地とプリムローズ海岸の間には、海側が急傾斜の砂丘が 1 列ある。砂丘の頂上部の平均標高は、平均潮位の上 6.98m に達する。長さ 1~2m の 3 つのコアを PS 盆地から採取し、PSS からは 2 本採取した(Figures 2C and 5)。

PS-2 の基底 0.3m(Figure 5)は有機物に富むシルトであり、上方へ向かって、有機物が著しく少ない厚さ 1m の細粒砂へと漸移する。これらの下部のユニットは、おそらく河川成もしくは風成である。陸の堆積物は、9888~9541 cal. yr BP の年代(Table 1)を示す泥炭層に覆われている。泥炭層の上位は、微小軟体動物 *C. badgerensis*, 汽水~海水生の珪藻、潮間帯の有孔虫を豊富に含み(Appendices 1 and 2, available online), 薄い細(ミリメートルからセンチメートルスケールの)ラミナを持つ粘土である。ラミナを持つ粘土の堆積環境は、おそらく塩性の潟である。ラミナのある細粒堆積物の特徴は、バリアによって波や潮流の動きから守られた堆積環境を示唆する。PS-2 のトップ 0.1m は、ラミナの欠如によって区別された、微小軟体動物を含む粘土のユニットである。この変化は、人間による潟への攪乱効果もしくは、ラミナ形成の原因となっていた季節的な水の変動の減少を反映すると思われる。

陸成の環境から塩水の潟環境へと移行する一般的なシーケンスは、PS 盆地における他の 2 つのコアでも観察される(Figure 5)。PS-3 と PS-1 の潟堆積物はラミナがなく、PS-2 ほど厚くないが、これはおそらく、前者 2 つのコアが沿岸の地点において、より端の(影響の少ない)場所にあったためだろう (Figure 2C)。PS-1 における中~細粒砂ユニットの存在(例えば、深度 0.5~0.2 m の間)は、閉塞的な塩性の潟においては異常なものである。しかし、PS-1 は PS 盆地の中で最も海側のコアであるため、盆地中央よりも多くの風成砂を受け取ったかもしれない。

PSS 盆地のコアは、(おそらく PSS コアの場所がより海側であることを反映して)概して PS 盆地のものより砂質であるが、古環境のシーケンスは同様である。陸生の砂層は、汽水~海水の堆積物に覆われている。PSS-1 における貝殻片の存在は、潟というよりむしろ入江

の環境を示唆するが、貝殻は小さな破片としてのみ産出し、現地性ではない。PSS-1 の上部 0.5m は、均質中粒砂であり、これはおそらく風成で、この地域の砂丘と関連していると思われる(Figure 2C)。

## 議論

### タスマニア島南東部の沿岸水域における完新世の環境

研究地域であるサウスネック海岸、サウスアーム海岸、プリムローズ海岸の詳細な古環境の歴史は比較的多様で、地点の標高、淡水と海水の浸入、砂丘バリアの発達、堆積物の供給、これら全てが地域的多様性を生み出している。しかし、地域間で対比される、より広域規模の変化も認められる。個々の古環境の歴史から、沿岸の発達について 4 つの過程が推定され(Figure 6)、またこれらは、完新世の相対的海水準変動と関連している(Figure 7)。

### フェーズ I : 陸の環境, 8000 cal. yr BP 以前

全 3 つの湿地の基底部は、陸成堆積物で風成または河川起源のものが一般的である。これらは、相対的海水準が現在の高さより低かった時に堆積した(Figure 6)。年代コントロールは、サウスネック海岸とプリムローズ海岸の風成堆積物中の木炭片と木片に基づき、平均潮位上(AMTL)  $-2.2 \pm 0.31\text{m}$  と  $-1.04 \pm 0.31\text{m}$  において、それぞれ 8404~8293 cal. yr BP と 9888~9541 cal. yr BP というデータを得た(Figure 7, Table 1)。

### フェーズ II : 淡水環境, 8000~6500 cal. yr BP

全 3 地点の多くのコアで、フェーズ I の陸成堆積物とその上位の海成堆積物の間に、河川成または淡水性の泥炭堆積物が存在する。これらの有機物に富む堆積物は、海進性のバリアの陸側に池が形成されたことを示す(Figure 6)。相対的海水準の上昇に伴って、砂のバリアはおそらく陸側へ移動し、淡水環境の存在は、砂のバリアの移動が(相対的海水準上昇に)追いつけなかったというよりはむしろ、相対的海水準上昇の速度と同じペースで起こっていたことを示す。相対的海水準上昇がピークに達したタイミングを規定する適切な年代データはない。コア SAG-1 の基底にある木質泥炭層から得たデータは、7424~7256 cal. yr BP の年代を示した(Figure 7)。泥炭層は現在の標高が  $-0.95 \pm 0.31\text{m}$  AMTL であり、泥炭層が海面より上で堆積したと仮定すると、~7300 cal. yr BP において相対的海水準は、この高さより低かったことを示す。

### フェーズ III : 潮間帯の潟と潮流口, 6500~2000 cal. yr BP

全 3 ヶ所の沿岸水域は、中~後期完新世の期間に、様々な程度で海水の浸入があったこと



を示しており、おそらく完新世の最高海面期(Sloss *et al.*, 2007; Switzer *et al.*, 2010)を表している。サウスネック海岸のような潮流の影響を受ける潮間帯の潮流口から、直接的には海洋とつながっていないサウスアーム海岸や海洋とつながっているプリムローズ海岸のような、波から守られた汽水～海水の潟へと状態が変化した(Figure 6)。サウスネック海岸で最も古い貝殻の年代は 6314～6155 cal. yr BP で、 $-1.7 \pm 0.31$  m AMTL の標高から産出し、これは～6200 cal. yr BP までに相対的海水準がその高さより上に到達していたことを意味する(Figure 7)。フェーズⅢの終わりを規定する最も若い年代は、コア SNB-2 の標高 $-0.85 \pm 0.31$  m AMTL にある潮流口の貝殻混合層から得られた、2776～2675 cal. yr BP という貝殻のデータである。

フェーズⅣ：海水から淡水への移行、2000 cal. yr BP～現在

サウスネック海岸において、約  $2000 \pm 400$  yr BP に起きた、潮間帯の潮流口から淡水性湿地への明瞭な推移がみられる。サウスアーム海岸とプリムローズ海岸では、淡水性の泥炭層への移行は見られないが、海水の影響が減少したことを示唆する後期完新世の古環境変化がみられる。サウスアームで、特に SAS 盆地において、長期間的に続く汽水～海水の潟から、一時的な塩水低地への移行がみられる。プリムローズ海岸では、PS 盆地の上部 0.2m において、(ラミナの欠如から推定される)季節的な汽水～海水の浸入の減少と関連した変化がみられる。両方の移行帯について、年代を推定したが、直接的にそれらの年代は得られなかった。

全 3 つの沿岸水域における後期完新世の古環境変化について、可能性のある理由が 3 つ挙げられる。1 つ目は、後期完新世の相対的海水準の低下があったというものである。これに関する主要な根拠は、全 3 地点で海水の影響が減少していることである。もしサウスアームとプリムローズ海岸での移行期について正確に年代決定され、サウスネック海岸の移行期とタイミングが一致した場合、相対的海水準変動は、全 3 地点で同時に変化をもたらす最良のメカニズムであるため、このシナリオが最も適当であると考えられる。しかし、年代データが欠如しているため曖昧なままである。2 つ目の可能性は、湿地の潮流口をふさぐのに十分なほどバリアが発達したというものである。3 つ目は、盆地の埋め立てによって、海洋の影響を受ける標高よりも上に堆積環境が移動したというものである。これらの最後の 2 つのシナリオは、各地域で異なる時期に起こったことになる。

タスマニア島南東部の海水準記録に関する含蓄

図 7 では、本研究で得た放射性炭素年代を、Sloss *et al.* (2007)により提案されたオーストラリア本土南東部の海水準曲線と比較する。Sloss *et al.* (2007) の曲線は、7900～7700 cal.

yr BP の間に海水準が最高レベルに到達したことを示す。しかし、本研究で示されたデータによれば、サウスアームでは～7300 cal. yr BP において、陸成堆積物がまだ堆積しており、後氷期の相対的海水準上昇が、ホーバート地域においてはこの時期以後に最高レベルに達したことを示している。7300 cal. yr BP 以降の最高海面期は、オーストラリア本土南部から(報告されている)約 7000 cal. yr BP という年代を示唆する他の記録と一致している(Belperio *et al.*, 2002; Thom and Roy, 1985)。6300～5800 cal. yr BP の間の高海水準期が、タスマニア島西海岸に位置するマッコーリー湾において、砂丘間のくぼ地で採取されたコア中の花粉記録から示された(Fletcher and Thomas, 2010)。タスマニア島東部の地点では、この高海水準期と対応する証拠は見つかっていない。

タスマニア島南東部の湿地におけるフェーズⅢからⅣへの古環境変化は、Sloss *et al.* (2007)の海水準曲線における完新世の高海水準期(1～2 m AMTL)から現在の平均海水準までの相対的海水準の低下とほぼ対比される(Figure 7)。約 2000～2500 cal. yr BP の相対的海水準低下は、Switzer *et al.* (2010)によって、オーストラリア南東部沿岸においても示された。ここに示したデータからは、2700～1300 cal. yr BP の間に相対的海水準の低下があったことを明確に証明することはできないが、全ての地点で海水の影響が減少した理由としてこれが最もシンプルな説明である。以前には、オーストラリアの他の場所で共通して見られる中期完新世の高海水準期は、タスマニア島には存在しないと考えられていた(Lambeck, 2002)。

#### タスマニア島南東部の古津波の証拠

本研究で調査した全 3 地点は、過去 8000 年間を通して、その期間の古津波の証拠を、受容し保存している可能性があると考えられる。これは調査地点が海岸線に隣接した波から守られた盆地であったためである。しかし、これらの地域が津波を受容できた主要因は、8000 cal. yr BP から現在まで持続したと思われる沿岸の砂丘システムまたはバリアの存在である。砂丘や沿岸バリアの過去の高さとの連続性は不明だが、これはこれらの地域に押し寄せた津波または高潮のサイズを決定する要素である。

各地点での古環境変遷の枠組み内では、巨大な高潮や古津波のような急激な海水の浸水イベントを潜在的に示す、異常なユニットが 5 つ確認された(Figure 3-5 の星印のユニットを参照)。近年、多くの研究で現世の津波および古津波の堆積物の特徴づけがなされ、特に津波と高潮の堆積物を識別できる特徴の決定を目的として行われた(例えば、Cochran *et al.*, 2005; Dominey-Howes *et al.*, 2006; Goff *et al.*, 2004; Kortekaas and Dawson, 2007; Morton *et al.*, 2007; Nanayama *et al.*, 2000; Sawai *et al.*, 2009; Switzer and Jones, 2008)。高潮と津波の堆積物を明確に区別する層序学的または微古生物学的特徴はないが、環境によ

っては、ユニットの厚さ、粒子の分級度、堆積物の組成の異質性、堆積物がどのように地形を覆ったり埋めたりしたか、偽礫の存在、といった点で違いが見られる(例えば、Kortekaas and Dawson, 2007; Morton *et al.*, 2007). これらの特徴の多くは、コア試料から評価することが難しい. このセクションでは、タスマニア島の3つの研究地域に見られる異常な堆積物について議論する. 異常なユニットは、それが古津波を示す可能性を決定するために、広く認められたいくつかの津波堆積物の特徴と比較する(Table 2A and B).

サウスネック海岸では、2つのユニットが、5つの重要な津波堆積物の特徴のうち少なくとも4つを含むため、古津波を示すと考えられる. 一つは、~4000 cal. yr BPの年代を示すカキ殻の混合層であり、もう一方は粗~中粒砂で、2700~1270 cal. yr BPの年代を示す貝殻および微小軟体動物を含む. どちらも、波から守られた汽水~海水の潮間帯環境で生じたが、それらが堆積した当時、外洋からどれくらい離れていたかは不明である. 現在の環境では、津波は、外洋からコアサイトまで堆積物を運搬することのできる最も適当なメカニズムである. しかし、もしシンプソン湾の海岸線が時間の経過とともに広範囲に前進堆積していた場合、このコアサイトが完新世のより早い時期に、波から保護された湾の奥部にかなり近づいていた可能性があり、高潮の波がカキ殻の混合層を堆積させ、上位のユニットは湾が埋められたときに堆積した後退性の海岸の堆積物となる.

サウスアーム海岸にある1つの異常な堆積物は、5つの重要な津波堆積物の特徴のうち4つを示す. これは、最も東の4つのコアにみられ、直接的な年代決定はできないが、その層序学的位置はそれが2000 cal. yr BPより新しいことを示唆する. それは、SAS盆地の塩水低地環境およびSAG盆地の風成堆積物のトップで生じた、細~粗粒砂である. 粘土のリップアップクラスト、異常な有孔虫群集、豊富な微小軟体動物 *Coxiella badgerensis*, といった特徴がある. このユニットは、盆地内に元々存在していたよりも高エネルギーな環境で、一度の高エネルギーイベントによる盆地への運搬を明確に表す. 砂丘が現在と同様の場所(平均潮位上3.5mで連続的)にあった場合、津波は最も適当なメカニズムである. しかし、それらの盆地付近の砂丘に切れ目があった場合、これらの地点と短期的な海水のつながりがあって、大規模な高潮の際に運搬された可能性が考えられる.

プリムローズ海岸には2つの異常なユニットがあるが、どちらも津波堆積物ではないと考えられる. それらのユニットは、この地域で採取した5つのコアのうち1つだけにみられるため、1つのコアサイトにおける潮汐チャンネルの存在あるいは激しい風成砂の飛来といった、地域的なプロセスによってより簡潔に説明できる.

津波堆積物の可能性があるものは、ここで調査した3つの沿岸の湿地全てにみられたが、3つのユニットのみを古津波を示すものとして考える. 沿岸の地形の歴史と砂丘の歴史についてのさらなる知識が、高潮や潮汐チャンネルの変化よりも、これらの堆積物が津波起源であ

ることを確認するために必要である。これらの地点について発展した広範な年代学的枠組みから、これら3つのユニットの年代は、 $\sim 4000$  cal. yr BP,  $\sim 2000$  cal. yr BP および  $< 2000$  cal. yr BP と推定される。後者の2つのユニットは直接的に年代決定できないため、それらが一致する可能性もあり、その場合、広域にわたるイベントになるかもしれない。津波堆積物が保存される機会のあった8000年間の中では、それは3000~4000年の再来間隔を示す。このような見積もりは、現在までに調査されてきた地域が少ないことを考慮すると、この地域における非常に予備的な平均と考えられる。さらに、より小さな津波が、砂丘システムを突破もしくは乗り越えて地質記録にその発生の証拠を残すことはないとする、それは中~大規模のイベントのみを示していることになる。

本研究で記載したタスマニア島の古津波堆積物の可能性があるものについて、そのイベントの起源は不明である。10回の古津波イベントがオーストラリアの広範囲で確認されているが(Dominey-Howes, 2007), 起源がはっきり分かるものはなく、そしてこれらのうち1つのみが、本研究で確認されたイベントの年代に対比される。オーストラリア南東海岸のKillalea ラグーンにおける大規模な砂のウォッシュオーバーの層は、 $< 800$ 年という年代を持ち(Switzer and Jones, 2008), サウスアーム海岸で確認された $< 2000$ 年の異常な堆積物と対比されるかもしれないが、両ユニットの年代値は非常に不十分である。Goff and Dominey-Howes (2009)は、Killalea ラグーンにおける $< 800$ 年のイベントと、725~300 yr BPに堆積したニュージーランドの海岸における複数の古津波堆積物との間の対比を示唆した。この期間内のニュージーランドのイベントのほとんどは比較的小規模で、地域的な起源のものであり、タスマニア島に影響を与えないだろう。唯一可能性のある例外は540~620 yr BPのPuysegur沈み込み帯でのイベント(Goff and Dominey-Howes, 2009)だが、文書記録は乏しい。ニューサウスウェールズ海岸南部のサンドシートに記録され、約4300  $\pm$  500 yr BPの年代を持つと報告されている津波イベント(Switzer et al., 2005)は、本研究でタスマニア島において確認された $\sim 4000$  cal. yr BPのイベントに対比される可能性があり、これを確認するためには両イベントのより正確な年代決定が必要である。約6500 cal. yr BPと900 cal. yr BPのオーストラリア南東部の海岸における2つの大規模な古津波(16m以上遡上)の証拠が、Bryant and Nott (2001)によって提案されている。タスマニア島ではこの6500 yr BPのイベントに関しては、本研究では古津波の証拠は見られない。900 yr BPのイベントは、本研究でサウスアーム海岸において確認された $< 2000$ 年前の異常な堆積物に対比される可能性があるが、3つの研究サイト全てにおいて、このイベントの広域的な証拠がないことは、これが巨大津波ではなかったことを示唆するだろう。

## 結論

タスマニア島南東部の湿地に保存されている層序学(的記録)は、完新世を通じた沿岸の変遷についての情報を豊富に含んでいる。ここで研究した3つの沿岸湿地は多様な堆積記録を持っているが、共通した古環境変遷のフェーズが確認された。陸と淡水の環境は、完新世初期(低海水準期～海水準上昇期)に記録されている。7300～6200 cal. yr BP(高海水準期)のいずれかの時期に、汽水～海水の潟と潮流口への推移があり、その後～2000 cal. yr BPに、後期完新世の海水準低下の証拠を示す塩水低地と淡水の湿地に戻った。これらの古環境的歴史は、比較的高エネルギーな堆積メカニズムを必要とする5つの異常堆積物を識別するための枠組みを提供する。これらのうち3つは、～4000 cal. yr BP, ～2000 cal. yr BP, <2000 cal. yr BPに発生した津波によって堆積したと考えられる。しかし、これらのイベントを津波として決定づけるためには、この地域の砂丘とバリアの歴史についてのさらなる研究が必要である。(北村晃寿・小林小夏)