南・北大東島の池沼の湖盆形態について

新 井 正

On the Morphological Features of Lake Basins in the Daitō Islands, Japan

Tadashi ARAI

Abstract

Minami-Daitō and Kita-Daitō Islands are raised atoll reefs consisted of marginal hills (height; about 50 m above sea level) and central lowland (height; about 1 or 2 m a.s.l.). The islands would be more raised in the last ice-age than at present, and many ponds in the central lowland are considered to be originated from dolines or uvalas formed in that age (Fig. 2).

Lake sediment is mainly composed of humus and a clay layer is found in the lowest part. After NAKAO (1977), result of carbon dating of wood pieces taken just above the clay layer was 8,560 Y.B.P. for Amida-ike in Minami-Daitō Island (12.6 m under the lake bottom and 20.1 m under the water surface) and 7,550 Y.B.P. for Aka-ike in Kita-Daitō Island (17.8 m under the bottom and 19.8 m under the water surface). This means that dolines and uvalas formed in the last ice-age had submerged after it and created the ponds.

In Minami-Daitō Island, flat and marshy area (L4) is found in the south-west part of the central lowland, and isolated hills and dolines (Fig. 3) are found in the north-east part of the lowland (L3). L3 surface may be the original landform during the ice-age, and in the south-west part, it would be submerged under L4 surface which consists of recent deposit (Fig. 4). Most of ponds distribute on L4 surface, but several lakes in Minami-Daitō Island situate on L3 surface. In Kita-Daitō Island, L4 surface is narrow and ponds are situated on L3 surface.

Distribution of electric conductivity of lake water and shallow groundwater is shown in Fig. 5, where the values for lake water is low as compared with that for groundwater. This means that sea-salt intrusion into the central lowland, especially into lakes, may be small and intermittently.

1. は じ め に

沖縄県、南・北大東島は、沖縄本島の東約 350 km の太平洋中にあり、かつて実施された深さ 400 m 以上に及ぶボーリング調査の範囲では、石灰岩のみによって構成されている (杉山, 1934, 1936)。この二つの島は離水環礁で、いずれも最高約 70 m、平均標高 30 ~ 50 m の丘が島の外側をとり囲み、その内側は広い窪地になっている。この窪地内に、多くの池沼や湿地が分布しており、池沼の水面の標高は 1~2 m である。

これらの池沼に関する研究報告としては、YOSHIMURA (1938) の北大東島大池および赤池の水質分析、武永 (1965) の南大東島の池沼の水質調査などがある。ここには、日本では類例が少ない溶食湖が、熱帯に近

い環境のもとで数多く分布するにもかかわらず、交通の便が悪いために調査報告は少ない。筆者は 1974 年、1976 年、1978 年に、この両島の池沼の湖盆形態を中心とした調査を行なったので、若干の考察を加えて報告する。

2. 湖 盆 形 態

南・北大東島の中央部の低地には多くの池沼が分布するが、そのうち 1/10,000 程度に地図に表現されるのは、南大東島で約 40 カ所、北大東島で約 10 カ所である。しかし、小さな池沼までもを含めると、その数は莫大なものになる。これらの池沼は、武永 (1965) が指摘しているように、沈水した石灰岩地形に原因するドリネ湖あるいは、ウバーレ湖である。Fig. 1 に示されている池沼のうち、単純な円に近い形態の池

Fig. 1. Geomorphological maps of Minami-Daitō Island and Kita-Daitō Island (height in meters). Shaded area: pond, dotted area: depression.

は単一のドリーネで構成されるドリーネ湖で、面積が広く形が複雑であったり細長い形態の池は、ドリーネが複合して形成されたウパーレ湖である。

Fig. 2 には測深図の例を示したが、南大東島アミダ池、淡水池、豊作池などが典型的なドリーネ湖で、中心近くに最深部があり、それをとり囲んで同心円状の深度分布が見られる。この図には武永 (1965) によるヒョウタン池の測深図を、ウパーレ湖の例として示した。小規模な池の例として淡水池東側の小池の測深図を示したが、ここでも同心円状の深度分布がみられる。

いずれの池も、岸にはアダン、マングローブ、イ草などが茂り、湖岸植物はオーバーハング状に水中に張り出しているために、岸での水深は 1~2 m あるのが普通である。多くの場合、池の周囲は湿地である。

池の水色は黄緑色ないし黄土色で、透明度は 1 m 以下の場合が多く、pH は 7~8 である。池の性格は腐植栄養湖に近いものと判断される。

1974 年 12 月に南大東島アミダ池で実施したボーリング試料によると (中尾, 1977), 水深 7.5 m の地点で、湖底下 12.6 m で灰色の粘土層が現われる。後述の現在陸上に見られるドリーネの形態やドリーネ底の

状態と対比して考えると、この粘土層が池の基底になると判断された。粘土層の直上には植物の根または幹とみられる木片があり、その ^{14}C 年代は $8,560 \pm 330$ Y. B. P. であった。11.7 m から上部は層状に堆積した葉や腐泥で占められているが、10.8 m 付近に厚さ 1~2 cm の白色の細砂の層がみられる。北大東島赤池でも 1974 年 12 月にボーリングが行なわれたが、ここもアミダ池と同様な堆積相を示している。赤池では水深 2 m の地点で、湖底下 17.8 m で灰色の粘土層に達し、粘土層上の木片の ^{14}C 年代は $7,550 \pm 230$ Y. B. P. であった。それより上部は、水草、腐泥などで占められている。ここでも、深さ 16.9 m を中心として白色細砂が厚さ 10 cm 弱で分布する。この細砂の原因については未知である。

現在標高 10~30 m にある L1・L2 面 (後述) に分布するドリーネは、10~20 m の深さのものが多い。その底には粘土質の堆積物があり、湿地となっており、アダン・クバ・竹・イ草などが生育している。前述のボーリングで見られた粘土層を沈水ドリーネの基底とすれば、池沼の原型となったドリーネの規模・形状は、現存のドリーネとほとんど等しくなる。また、現存のドリーネ底の堆積物と、ボーリングで得られた湖底堆

Fig. 2. Bathymetric maps of several ponds. *: after TAKENAGA (1965), © in Aka-ike: canal of water intake for sugar mill.

植物とは互に類似している。以上の視点から、南・北大東島の池沼は、ドリーネが沈水したものであろうと判断される。原型となるドリーネの形成時期としては、最近の海水準低下期である最近の氷期と考えるのが妥当であろう。武永 (1972 b) によれば、現海面下にも石灰洞が存在することが認められているし、湖底堆積物も連続した層序を示しているので、堆積物中の木片の年代とあわせて、上述のように考える。

島内の地下水は、巨視的にみれば淡水レンズの型で存在している。低海水準期に海面よりはるかに高い位置にあったドリーネ群は、後水期の海水準の上昇にともなう島内の地下水面の上昇によって、次第に沈水した池沼を形成したと考えられる。

前述のボーリング資料によれば、湖底堆積物の厚さは南大東アミダ池で約13 m、北大東赤池で約18 mであった。堆積物の厚さを13~18 mとし、また、前述の年代測定により堆積が行なわれた期間を約8,000年と仮定すると、1.6~2.3 mm/yの速度で堆積がなされたことになる。現在、南大東島の年平均気温は22.9℃、最寒月（1月）の平均気温は17.2℃、年降

水量は 1,732 mm であり、生物生産はかなり多い。冬にも生産が活ばつな地域であるので、上述のような速度で堆積が行なわれても不思議ではない。

南大東島池沼群の最北に位置し、水面積が最も広い大池は、他の池とは異なり、明瞭なドリーネを持たない。大池は水深が浅く、また池の中には島があり、この西側に位置する帯池とともに特異な形態を示している。北大東島の池沼も南大東島大池と同様に浅く、北大東島大池で3.9 m (YOSHIMURA, 1936)、赤池で2.0 mである。北大東島のこれ以外の池はいずれも狭く、さらに浅い。これらの点から、南大東島北部と北大東島の池沼は、南大東島中・南部の典型的なドリーネ湖・ウパーレ湖とは、その成因に關与する地形条件に差異があるのではないかと考えられる。

3. 地形面区分と湖盆形態

南大東島の地形については、武永（1966, 1972a・b）の詳細な研究があるが、それらは主として海岸のベンチと洞穴に注目したものであり、旧ラグーンである中央低地やそこに分布する池沼に関しては充分ではない。

また、北大東島に関しては、地形区分の報告はない。南大東島の旧ラグーンの地形区分として、武永 (1972 a・b) は、高い面から順に L1, L2, L3 面と呼んでいる。L1 面は標高 10~20 m で、外側をとり囲む丘の内側の崖下の平坦面、L2 面は 5~10 m で浸食を受けている面、L3 面は最下位の池沼が分布する面である。

筆者は 1/10,000 地形図による現地調査にもとづいて、武永の L2 面の分布を若干書き改め、さらに L3 面を二面に分割し L3 面と L4 面に区分した (Fig. 3)。L4 面は中央低地のなかでも最も低湿な部分で、低地の南西部を占めている。筆者の L3 面は、中央低地の東北部を占め、L4 面が標高 1~2 m で湿地、池沼の面積が広いのに対して、L3 面では湿地は比較的狭く、残丘状の起伏がみられる。この残丘状の丘の標高は 5~10 m である。そのよい例は大池周辺にみられ、池内および岸に丘が分布し、L4 面の池沼とは異なった形態を示している。Fig. 3 には 1/10,000 地形図で確認した丘の分布が示されているが、それは旧ラグーン内の北東部に多く、南西部には存在しない。

このような L3 面と L4 面との地形の差異、および

南大東島大池と他の池沼との湖盆形態の差異から、次のように推論することができる。すなわち、L3 面は全体として北東から南西へ傾斜しており、旧ラグーン内の南西部では、L3 面は L4 面の下に埋没していると考えられる。低海水準期には L3 面とその延長部分が旧ラグーン内の低地に分布し、全体にわたって多数のドリーネが存在していたであろう。後水期の海水準の上昇にともない、元来地盤が低かった南西側は沈水し、それと同時に堆積が進行し、L4 面が形成された。一方、元来地盤が高かった北東部では、低地は埋積されたが、全体としては以前の地形面が残され L3 面を形成している。このように考えると、L4 面のうちでも南西端の権蔵池付近が最も低湿であり、L3 面にかかる大池の水深が浅いことも説明できるであろう。この状態を模式的に描くと、Fig. 4 のようになる。北大東島の池沼は、いずれも浅く、中央低地の湿地の面積もせまい。これは、北大東島では L4 面が狭いことを意味している。

なお、L1 面、L2 面は南・北大東島ともに明瞭にみられるが、湖盆形態とは直接関係がいのので説明を省

Fig. 3. Distributions of pond, dolines, isolated hills and division of geomorphological surfaces in the lagoon (central lowland) of Minami-Daitō Island.

A: Akiba Yama, M: Miharashi Yama, K: Kannon Yama, D: Daito Jinzya, ○: doline, △: isolated hill.

Fig. 4. A schematic figure of the landform in the lagoon on the cross-section NE~SW in Minami-Daitō Island.

略する。

4. 池水と地下水の電気伝導度の分布

電気伝導度の調査は1976年11月末から12月上旬にかけて実施した。結果はFig. 5に示してあるが、図中の等値線は池水面に対する値で、(●)の記号とともに記された数値は井戸に対する値である。L3面、L4面の井戸はいずれも浅く、地表から水面までが1m以内である場合も多い。

電気伝導度に関して池水と井戸水とを比較すると、前者のほうが値が小さく、 $1,000 \mu\text{S/cm}$ 以下である。それに対して、井戸水では $1,000 \mu\text{S/cm}$ 以上の場合が多い。池水の電気伝導度は、島の中心部に近い飲池付近で低く、中央低地の外縁部で高くなっている。池は、かつてはサトウキビ運搬のための人工水路で結ばれていたが、現在では水路は埋まり、池相互間の表流水による水の移動はほとんどない。それゆえ、上述の電気伝導度の分布は、池水と地下水との混合、および地下水への海水の浸入の影響とみなしうる。

地下水よりも池水のほうが電気伝導度が低い理由としては、池には雨水の直接的な注入が多いこと、池底の粘土層が明瞭なために池水と地下水との交流が比較的少ないこと、などが考えられる。海洋中の島においても、降りはじめを除くと雨水の電気伝導度は極端に高くなることはなく、南大東島でも天水槽中の水の値は約 $200 \mu\text{S/cm}$ であった。したがって、雨水が直接注入する池では、電気伝導度は低くなるものと解釈される。

水収支の面からみると、年降水量約 $1,700 \text{ mm}$ に対して、Penman法による最大蒸発量は $1,300 \text{ mm/y}$ 程度と推定されるから、水の余剰は生じうる。したがって、地下水からの補給が無くても池は存在しうるし、また島全体としてみると、水の流れは陸地から海に向っているはずである。

南・北大東島の地下水については、従来は海水の浸入による影響が強調されてきた。しかし、今回の調査

Fig. 5. Distribution of electric conductivity of waters in ponds and shallow ground-water in Minami-Daitō Island ($\mu\text{S/cm}$ at 18°C , Dec. 1976). Contour line: for surface water of pond, ●: well, L3 and L4: land surfaces.

によれば、海水の浸入は間接的あるいは間歇的であるといえる。たとえば、大池北側の石灰洞に連なる水門で(図中WG地点)、降雨直後の1976年12月4日夕方には洞穴からの湧水は $20 \mu\text{S/cm}$ であったが、12月5日昼間には流れは逆になり $3,800 \mu\text{S/cm}$ になった。

大池西側の井戸では12月4日夕方に $16\mu\text{V}/\text{cm}$ であった。この下流に位置する池では、11月29日に $1,650\mu\text{V}/\text{cm}$ 、12月5日に $20\mu\text{V}/\text{cm}$ であった。このほか、ヒョウタイ池南側の井戸やその他の井戸でも、渇水時には塩分が多くなると言われている。

以上の事例からみて、旧ラグーンをとりまく巾約1 kmの旧環礁部の割れ目水や洞穴水の挙動が、旧ラグーン内の池水や地下水に影響を与えているが、海水の浸入は間接的であると言える。武永(1965)によれば、洞穴内の水の Cl^- 濃度も池水のそれに近いことから、海水の直接的な浸入は海岸近くに限られていると考えられる。L4面がほとんど淡水で飽和しており、その水面高度が約+1 mであることから、海水の浸入は直接的ではないといえることができる。

5. 考 察

以上にのべた湖盆形態、堆積物、電気伝導度、水収支などから、大東島の池沼の発達について次のように要約し、また問題点を指摘することができる。

すなわち、後氷期の海水準の上昇にともなう島内の地下水面の上昇により、L3面の延長上にあったドリーネは次第に沈水し、湿地あるいは池沼へと変化した。また、現在の島内の水のあり方や、湖底堆積物にみられる連続的な層相から、過去(後氷期)においても、旧ラグーン内には海水の直接的な浸入は無かったであろうと考えられる。

武永(1966)によれば、海岸に面した石灰岩の崖には、1~数 mの高度に Hypsithermal 期の海水準の上昇に相当する海食ノッチが形成されているという。もし武永の判断が正しいとすれば、旧ラグーン内の窪地にもこれに対応した地形あるいは堆積物の存在が考えられるが、すでに耕地化が進んだ現在では、その確認は困難であった。武永の判断にもとづけば、Hypsithermal 期には L4面全体と L3面の一部ないしは大半が水没し、広い池が作られていたことになる。池が拡大した場合の池水と海水との交流については、全く推定の域を出ないのであるが、海水準上昇が数 m程度で降水量が現在と同程度であれば、水収支や淡水レンズから考えて、大規模な海水の浸入は無かったように考えられる。

以上のように Hypsithermal 期に関しては大きな問題が残るが、一般的に南・北大東島の池沼は、氷期以後沈水・堆積したドリーネ湖あるいはウパーレ湖とみなしてよい。

大東島の水のあり方をさらに詳しく知るためには、旧礁部の割れ目水や洞穴水の調査が必要である。また、池沼の発達史の検討のためには、海はをも含めた広い範囲の地形調査が必要であろう。

謝 辞

最後に、この調査の機会を与えていただいた中尾欣四郎氏(北海道大)、調査に協力していただいた沖野外輝夫氏(信州大)、大塚文夫氏(横浜市新田中)、南・北大東村役場および村民の方がたに厚く御礼申し上げる。

文 献

- 中尾欣四郎(1977): 大東島の珊瑚礁湖史。陸水学会第42回大会要旨集, D-21.
- 杉山敏郎(1934): 北大東島試錐について。東北地質古生物学教室邦文報告, No. 1, 1-44.
- 杉山敏郎(1936): 第2回北大東島試錐について。東北大地質古生物学教室邦文報告, No. 2, 1-34.
- 武永健一郎(1965): 沖縄南大東島の池沼と地下水。地理科学, No. 4, 12-15.
- 武永健一郎(1966): 沖縄南大東島の Shore Feature。地理科学, No. 5, 1-22.
- 武永健一郎(1972 a): 洞穴研究における地形学的視野。Japan Caving, No. 12, 27-37.
- 武永健一郎(1972 b): 沖縄南大東島の洞穴とその地形学的意義。Japan Caving, No. 13, 57-65.
- YOSHIMURA, S. (1938): Limnology of two lakes on the oceanic island, Kita-daitō Zima. Proc. Imp. Acad. Tokyo, 14: 12-15.

(著者: 新井 正, 立正大学地理学教室, 東京都品川区大崎 4-2-16; Tadashi ARAI, Department of Geography, Rissho University, 4-2-16, Ōsaki, Shinagawa, Tokyo, 141)

1979年11月15日 受理