

13. CSAMT法による高松クレーターの地下構造 Subsurface structure of the Takamatsu "Crater" by CSAMT method

(株)四国総合研究所 ○長谷川 修一
 (株)四国総合研究所 金山 清一
 (株)建設企画コンサルタント 小里 隆孝

1. はじめに

高松クレーターは、重力探査によって発見された伏在陥没構造で、高松市仏生山町を中心に直径約4km、深さ千数百mの規模と推定されている(河野ほか, 1991)。この陥没構造の成因については、隕石衝突孔説と火山のカルデラ跡説が対立している。また、地下水についても、地下ダムのような有望な地下水源になるとの考えとクレーター内にはいわゆる帯水層は期待できないとの考えが対立している(河野編, 1995)。

そこで、高松市は平成7年度CSAMT法電磁探査を実施し、既存のボーリング資料を参考に、高松クレーターからの地下水の賦存状況と取水の可能性について検討した(高松市・四国総合研究所, 1996)。本論文では、CSAMT法による高松クレーターの地下構造について報告する。

2. 高松クレーターの概要

河野ほか(1991)は、高松市南部における重力異常によるクレーター構造を発見し、その成因として①隕石衝突説、②火山活動によるカルデラ説が考えられると報告した。更に、河野ほか(1994)は、精密な重力調査、磁気調査、反射法地震探査によってクレーターの詳細調査を行い、直径が約4km、最大の深さが地表から千数百mのクレーター構造を報告した。そして、クレーターの成因として、カルデラに期待される大量の火山岩体がないことから、天体の衝突によって形成されたと結論づけた。三浦ほか(1994)は、高松クレーター内に分布する凝灰岩中から発見したラメラ状石英等を衝突変成鉱物とみなし、高松クレーターが衝突孔起源と推定した。

これに対して、石井・長谷川(1994)は、高松クレーターの地表に付近する第三紀中新世の讃岐層群に属する凝灰岩や安山岩等の火山噴出物の分布、およびクレーター内の地下320mのボーリングによって確認された厚い溶結凝灰岩(火砕流堆積物)の存在から、クレーター状構造は約1400万年前のカルデラ跡(コールドロン)と反論した。

一方、クレーター内の低密度の堆積層が空隙に富むと推定されたことから、河野ほか(1994)は、クレーター内の10%の空隙が水に浸されたとして、クレーターは約20億t(早明浦ダムの7杯分)の水がめとして利用できる可能性を指摘した。

これに対しても石井・長谷川(1994)は、クレーター内を構成している低密度の溶結凝灰岩中の大部分の水は岩石の空隙に閉じこめられた状態のため、利用できる水は割れ目を流れるわずかな量しかなく、地下水利用のコストとリスクが大きいことを指摘している。

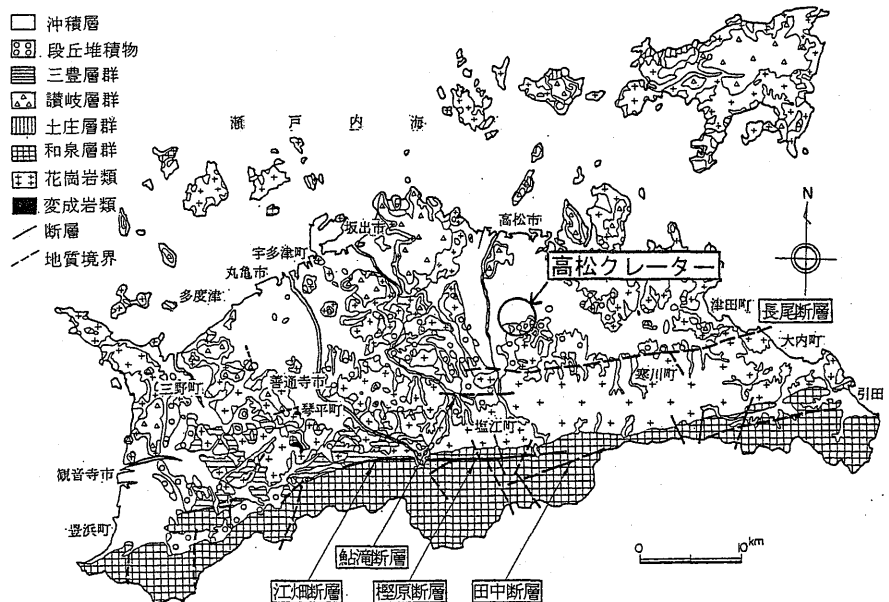


図-1 高松クレーター位置図

3. 高松クレーター周辺の地形と地質

高松クレーターは、高松市から香川町にかけての平野および丘陵の地下に伏在している（図-1, 2）。しかしながら、重力異常からクレーター内とされる範囲内には、日山、馬山などのピュート状の小山が分布している。

調査地の基盤は領家帯に属する白亜紀後期の花崗岩類からなる。花崗岩類は、高松クレーターの範囲内の地表には分布せず、その周辺の丘陵および平野の地下に分布している。

高松クレーター内に分布する日山、馬山等の小山は、中期中新世の讃岐層群に属する黒雲母安山岩類（～デイサイト）からなり、その山麓には同層群の初期に堆積した流紋岩質凝灰岩～凝灰角礫岩が分布している。

高松クレーターの地表付近には、三豊層群、段丘堆積物、沖積岩が基盤岩となる花崗岩類、讃岐層群を被覆している。

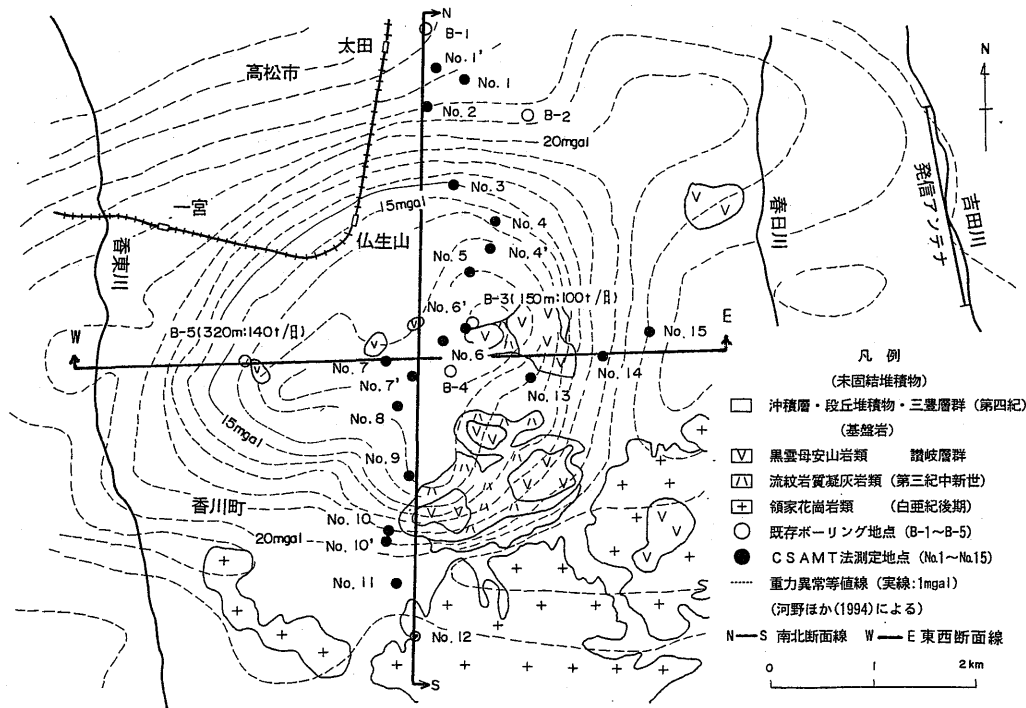


図-2 高松クレーターの地質とCSAMT法探査地点

4. CSAMT法電磁探査

4.1 探査目的

CSAMT法は、電磁探査の中の地磁気-地電流法（MT法）の一種で、人工的に電磁波を発信させて、受信点でその誘導電磁場を測定し、地盤の比抵抗を求める探査法である。地中に入射した電磁波は、周波数により透過する深さが異なるため、広い範囲の周波数帯域（ $10^{-2} \sim 10^3 \text{ Hz}$ ）の電磁波を利用することで、地下50m～数kmまでの異なった深さの比抵抗を求めることができる。

4.2 探査方法

測点位置を図-2に示す。

調査は高松クレーターの南北断面が得られるように計画し、その断面に直交する東西断面の東側外周部付近についても補助的な測線を設定した。探査の様子は以下の通りである。

- ①測定点数：20点
- ②測定方向：電場 $N12^\circ W$
磁場 $N78^\circ E$
- ③測定周波数：5, 120, 2, 560, 1, 280, 640, 320, 160, 80, 40, 20, 14, 10, 7.8, 5, 2, 1.25Hz

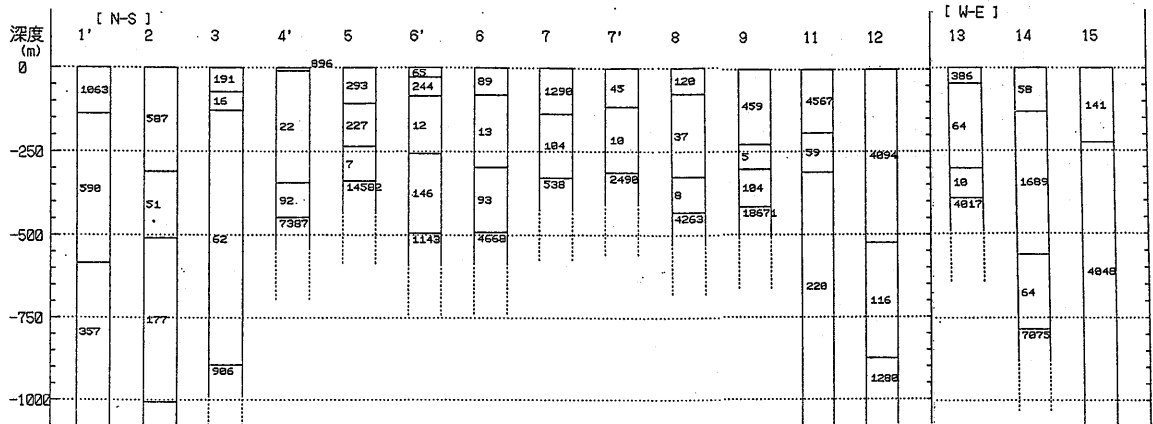


図-3 CSAMT法による高松クレーターの比抵抗柱状図

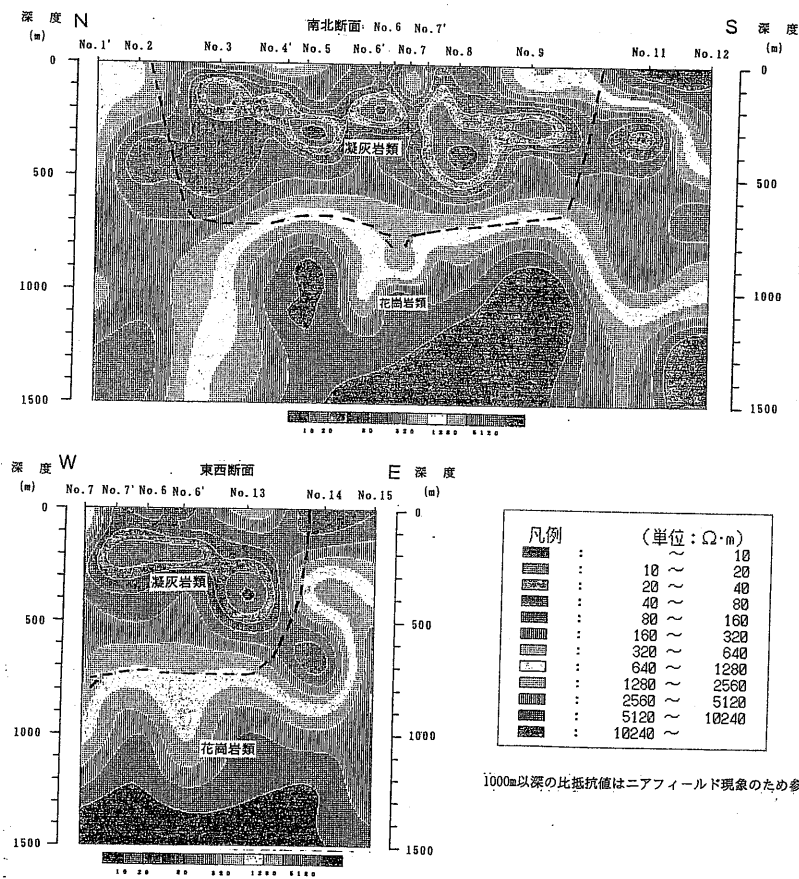


図-4 CSAMT法による高松クレーターの比抵抗断面図

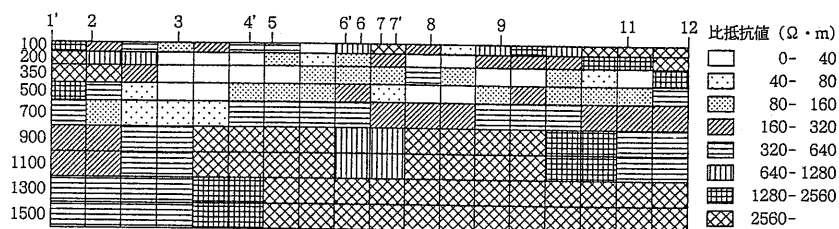


図-5 FEM二次元逆解析による高松クレーターの比抵抗構造図 (南北断面)

4.3 データ解析

- (1) データ解析は、みかけ比抵抗分布を参考に3～5層構造を仮定し、非線形最小自乗法を用いた一次元逆解析によった。その結果を比抵抗柱状図(図-3)に示す。
- (2) 比抵抗柱状図についてトポロジー平滑化理論を用いて比抵抗断面図を作成した(図-4)。これより以下の点が明らかになった。

①南北断面図

南北断面では断面両端付近では1000Ω・m程度の比較的高比抵抗ゾーンが地表から分布し、壁のような比抵抗構造が認められる。断面中央では深度200m～300mを中心として低比抵抗の分布がほぼ水平にみられる。また、測点No. 3ないしNo. 4から南端にかけての深さ約500m以下に1000Ω・m以上の高比抵抗構造が分布している。

②東西断面図

No. 7の西端からNo. 13付近で南北断面と同様の低比抵抗ゾーンが認められた。また、No. 14の深度700m付近では一部に薄い層厚の低比抵抗層が出現するものの、全般的にはNo. 14～No. 15にかけては高比抵抗ゾーンがやはり壁構造状に出現している。

- (3) 南北断面についてFEM二次元逆解析を行った(図-5)。図-5によれば、深度700m付近に低比抵抗と高比抵抗との明瞭な境界が認められる。これが、クレーターの底を示している可能性が高い。ただし、この深度は解析上200m程度まで深くなる可能性がある。また、クレーター外縁の位置はNo. 2、No. 10付近にあると推定される。

5. 既存ボーリング資料の検討

高松クレーター周辺における既存のボーリング資料を収集し、CSAMT法によって明らかになった比抵抗構造と地質との関係を検討した。

高松クレーター周辺で岩質まで達したボーリングの位置図を図-2に、柱状図を図-6に示す。

これによると、クレーター付近の平野部では沖積層、段丘堆積物、三豊層群などの第四紀末～半固結堆積物は50～150mの厚さで基盤岩を覆っている。これは、既存の岩盤等深線図(川村, 1995)とも一致し、高松クレーターとされる地下に厚い未固結堆積物によって埋め立てられた基盤岩のクレーター状構造はないことを示している。

ボーリングによる基盤岩は、クレーターより北側の太田上町(B-1)では、花崗岩が地表下185mで確認されている。

一方、クレーター内では、すべて地下に凝灰岩が確認されている。このうち、香川町寺井(B-5)のボーリングでは、地表下320mまで厚い流紋岩質凝灰岩が認められている。この凝灰岩は扁平になった軽石を多く含む溶結凝灰岩で、高松クレーターは厚い火砕流堆積物から構成されていることが確認できる。

B-5ボーリングコアの比重試験によると、表乾比重は約2.05である。また、本ボーリングコアの比抵抗は、水の飽和状態で44Ω・m、自然乾燥状態で97Ω・m、水の不飽和状態で65, 252Ω・mの値が得られている。なお、比抵抗の測定に使用した水は、B-5ボーリング孔内の裂け水で

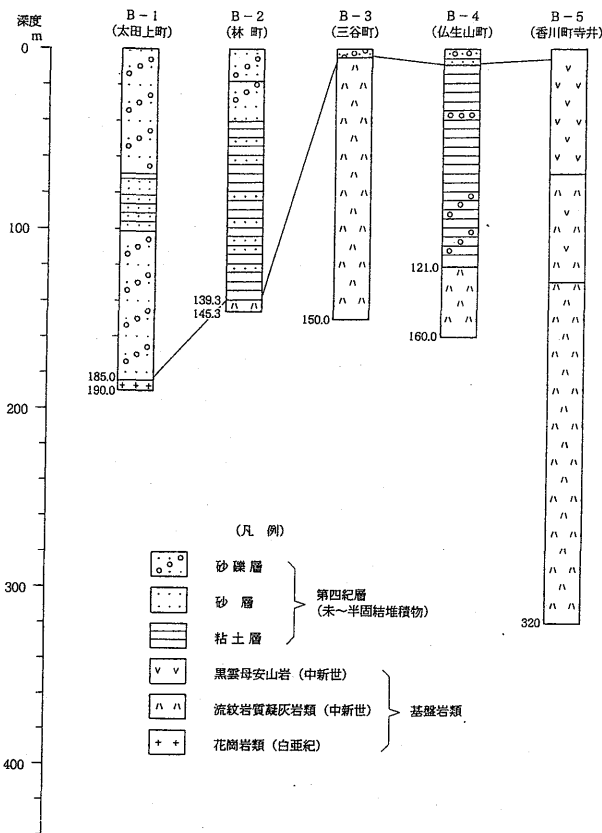


図-6 高松クレーター周辺のボーリング柱状図

あり、電気伝導率から求められる比抵抗は、 $49.0 \Omega \cdot m$ (25°C) である。

以上より、高松クレーターを構成する低比抵抗の物質は、水に飽和した状態の凝灰岩類で説明できる (図-7)。

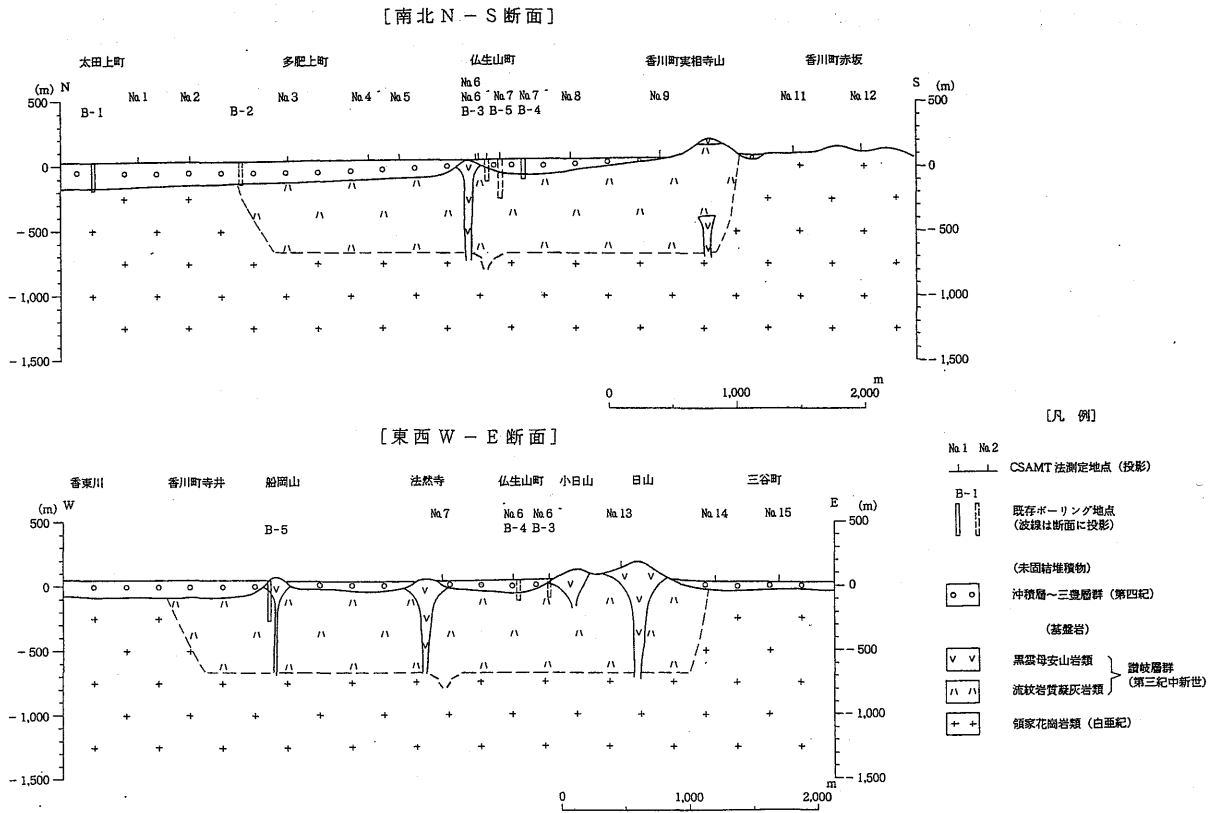


図-7 CSAMT法に基づく高松クレーターの地質断面図

6. 考察とまとめ

6.1 地下構造について

重力調査によって推定されたクレーター状構造は、CSAMT法電磁探査による比抵抗構造からも確認された。すなわち、

- ①クレーター状構造の外側では高比抵抗 ($1,000 \Omega \cdot m$ 前後)、内部では低比抵抗 ($10 \sim$ 数百 $\Omega \cdot m$) の物質から構成されていることが判明した。低比抵抗の物質の下限は、地下700m付近で、これより地下深部は $1,000 \Omega \cdot m$ 以上の高比抵抗の物質があると推定される。
- ②クレーターの地下の岩盤の上には、高松平野を構成する第四紀 (最近約200万年間) の未~半固結堆積物 (帯水層) が100m前後の厚さで堆積している。既存のボーリングデータによれば、堆積物の厚さはクレーター状構造と無関係で、基盤の花崗岩中の陥没を未~半固結堆積物が埋めているのではない。また、地下に地底湖があるわけでもない。
- ③地表の地質分布および既存のボーリングデータによれば、クレーターの外側の高比抵抗の物質は花崗岩類、クレーター内部の低比抵抗の物質は凝灰岩類に対応する。また、クレーターを構成する凝灰岩は吸水率が約15%と高く、クレーター内の低比抵抗は含水した凝灰岩によって説明できる。すなわち、高松クレーター構造は、花崗岩の窪みに凝灰岩類などの厚い火山噴出物が分布する構造である。

6.2 地下水について

クレーターを構成する凝灰岩は吸水率が約15%と高く（石井・長谷川，1994）、地下水を含むため低比抵抗になっている。したがって、クレーターの深度を700mその容積の10%が水分と仮定して、約20億tに近い水があることは計算できる。もし、クレーター状の陥没構造を未固結堆積物の砂礫層（帯水層）が埋めていれば、クレーターは地下水盆として評価できる。しかし、クレーターを構成している凝灰岩類は花崗岩と同じく岩盤である。クレーターにあると推定される水のほとんどは、凝灰岩中の空隙に保持されている水で、かつ凝灰岩は難透水性のため、ボーリングによって汲み上げることはできない。

岩盤中の利用可能な地下水は、岩盤中の割れ目を流れる裂力水で、その位置、取水量を予測することは現状の技術では極めて難しい。クレーター内の岩盤地下水の取水実績は、100 t/日（B-3：深度150m）と140 t/日（B-5：深度320m）である。これは、高松市の1日当たりの必要量とされる13~14万tと比較して極めて少量である。

7. おわりに

本調査は、高松市からの委託を受けて実施したものである。調査に当たり、お世話いただいた高松市市長公室企画課の林昇課長、吉田往副副主幹、並びにボーリング資料を提供いただいた㈱ナイバ石井秀明部長、田村ボーリング㈱田村彰三常務に厚くお礼申し上げます。

【引用文献】

石井秀明・長谷川修一（1994）：高松南部のクレーター状構造と水理地質。日本応用地質学会中国四国支部平成6年度研究発表会論文集，PP. 31-34.

川村教一（1994）：高松平野の基盤等深線図。香川県高等学校教育研究会理化部会生地部会会誌30号，PP. 71-74.

河野芳輝・西山吉介・古木宗充（1991）：高松南部のクレーター状構造。地震学会1991年秋季大会講演要旨。

河野芳輝ほか（1994）：四国高松南部のクレーターの構造。地震学会1994年秋季大会講演要旨。

河野芳輝編（1996）：高松クレーターの謎を探る。四国新聞社。231P.

三浦保範ほか（1994）：高松クレーターにおけるラメラ状石英の発見。地震学会1994年秋季大会講演要旨。

高松市・四国総合研究所（1996）：高松クレーターにおける地下水に関する調査業務委託報告書，71P.