第2章　地熱系の考察

第 2 章　地熱系の考察

2－1　地質構造と地熱系

地熱系の探査目的は，地質構造との関連において，その地熱系の大きさ，形態及び，地熱貯留層の規模について推定することである。本地域の地熱系は，北部Luzonの地熱徴候帯である隣接地Buguias，Daklan地域を通る，南北性の第四紀火山列から西側に偏移したところに位置する。BuguiasやDaklan地域では，石英安山岩の大規模円頂丘（1～2万年前）が分布し，それらが熱源となっているがしかし，本地域は第四紀前期のプラグ類（40～100万年前）の活動が，地熱系の熱源と考えられる。

本地域の地質構造は，ＮＳ系，ＮＥ－ＳＷ系及び，ＮＷ－ＳＥ系の断層や断裂構造が発達することで特徴づけられる。アシタモック閃緑岩々体，イトゴン石英閃緑岩々体，イトゴントーナル岩々体が構成する中央隆起帯（Central up-lift zone），前期中新世以降の堆積岩からなる西部沈降帯（Western subsidence zone）及び，これらの間の第三紀鮮新世のピラク花崗閃緑岩と，鮮新世末の安山岩複合岩々体からなる漸移帯（Transition zone）は，これらのＮＳ系，ＮＥ－ＳＷ系及び，ＮＷ－ＳＥ系の断層や断裂構造によって画されると推察される。

熱源と関連するプラグ類の活動の場は，中央隆起帯と漸移帯の境界部にあり，これらを境する断層や断裂構造に支配され，第三紀中新世から第四紀にまで引き続く中央隆起帯の隆起運動に密接に関連しているものであろう。

地熱系との関連が深いこれらのプラグ類は，Acupan鉱山などにみられる，金鉱化作用とも密接な関係を示す。つまり金鉱床の胚胎する母岩は，ピラク花崗閃緑岩，安山岩複合岩体からなり，鉱床の形成時期は鮮新世末期の安山岩複合岩体の後から現在まで引き続いており，鉱脈はＮＥ－ＳＷ系，ＥＷ系及び，ＮＥ－ＳＷ系の方向を示し，これらの主たる鉱脈の分布する範囲は，中央隆起帯と漸移帯の境界部に沿って，ほぼ帯状にみとめられ，鉱床を胚胎する裂か系の発達は，隆起運動に伴う断層や断裂構造に関連しており，地熱貯留層となるであろう裂か系は中央隆起帯の縁辺部に帯状に発達すると推察される（Fig. Ⅲ－２－１）。

2－2　地熱系の熱構造

本地域における火山活動，変質帯の分布，地温分布および温泉水の湧出などから，地熱系を形成する熱構造は，つぎのように考えられる（Fig. Ⅲ－２－１）。

地熱系を形成する熱源に関する火成活動としては，鮮新世末期～更新世にかけての安山岩質火砕岩や石英安山岩からなるプラグ類が想定される。プラグ類の活動の場は，安山岩複合岩体及びピラク花崗閃緑岩々体とアンタモック閃緑岩々体，イトゴン石英閃緑岩々体及びイトゴントーナル岩々体との境界部，すなわち，中央隆起帯の縁辺部のＮＳ系，ＮＥ－ＳＷ系及びＮＷ－

ＳＥ系の断裂構造に支配される。Acupan 鉱山付近のプラグは，このＮＳ系とＮＳ－ＳＷ系の推定される断裂の交点に，また同様に Itogon 橋付近のものも，ＮＥ－ＳＷ系とＮＳ系の交点部に位置している。

測温孔の温度測定の結果から，Itogon 橋付近のＡＧＨ－１孔と Acupan 鉱山付近のＡＧＨ－２孔で，浅部で１００℃前後の高温が得られた。また，Virac 付近のＡＧＨ－３孔，Itogon 町付近のＡＧＨ－６孔及び，Acupan 鉱山西方のＡＧＨ－４孔での温度は低く，その温度勾配も非地熱地帯のものを示す。これらのことは，Acupan 鉱山付近から Itogon 橋付近にかけて分布する高地温帯は，ＮＥ－ＳＷ方向に帯状に分布し，その北西部と南東部で急激な低温を示す凸状の構造を示していると考えられる。また，地表での温度分布をみると，Itogon 橋付近からさらにＮ－Ｓ方向に高地温帯が延長し，Acupan 鉱山付近から，ＮＳ方向にも高地温部が点在する。すなわち，これらの高地温帯は，中央隆起帯の縁辺部にＮ－Ｓ方向，ＮＥ－ＳＷ方向で分布し，中央隆起帯と漸移帯を画する断層や断裂構造の方向に調和的といえる。また高地温帯は，造構的に中央隆起帯の隆起運動に伴う裂か系の発達部であることから，地質構造に密接に関連したものといえる。

２－３　熱水と貯留層構造

本地域に分布する温泉水の化学分析から，地熱系の熱水循環機構と貯留層構造について考察すると，次のようになる（Fig.Ⅲ－２－１）。

Acupan 鉱山や Itogon 橋付近に湧出する温泉は，その化学組成から，Na／Cl 型，Ca／SO_4 型及び，Na／SO_4-HCO_3 型に分類される。またＯ／Ｈ同位体分析からは天水にその起源が求められる。Na／Cl 型はオキシジェンシフトを示し，化学組成から推定される地下温度は，T_{Na}-K-Ca で１９３～２３６℃と高温を示す。これらの熱水の形成について，Ca／SO_4 型は Na／Cl 型の熱水中から解離したガスが地表近くの地下水を加熱することによって，また Na／SO_4-HCO_3 型は，Na／Cl 型の熱水層のレベルの低下により形成され，下位に Na／Cl 型，上位に Ca／SO_4 型，その中間の漸移帯として，Na／SO_4-HCO_3 型が層状に分布するものと考えられる。これらの熱水はその湧出機構からみて，前述の熱構造を規制するが，中央隆起帯の隆起運動に伴う断層や断裂系に規制されて貯留されているものと考えられる。これらから，本地域の地熱水は，プラグ類の活動と関連する，地下深部から由来する火山性ガスと循環する深部地下水とが混合することに依って形成され，中央隆起帯縁辺部の断裂帯の割れ目中に，高温で中性の Na／Cl 型の熱水貯留層が形成されているのではないかと推察される。この Na／Cl 型の熱水層上部では Na／Cl 型の熱水中から解離した CO_2 や H_2S ガスが，地下浅部の Ca に富む地下水を加熱することにより，Ca／SO_4 型の熱水層を形成する。同時に，方解石や石膏を晶出させ割れ目を充填し，熱水の通路を閉ぐ自己閉塞帯を形成しているも

のと推察される。また，時間の経過とともに，Na／Cl型の熱水層のレベルが低下することにより，Ca分の沈澱とH_2S及びCO_2ガス分が残留側の熱水に富むことに，Na／SO_4－HCO_3型の熱水層を形成するものと考えられる。

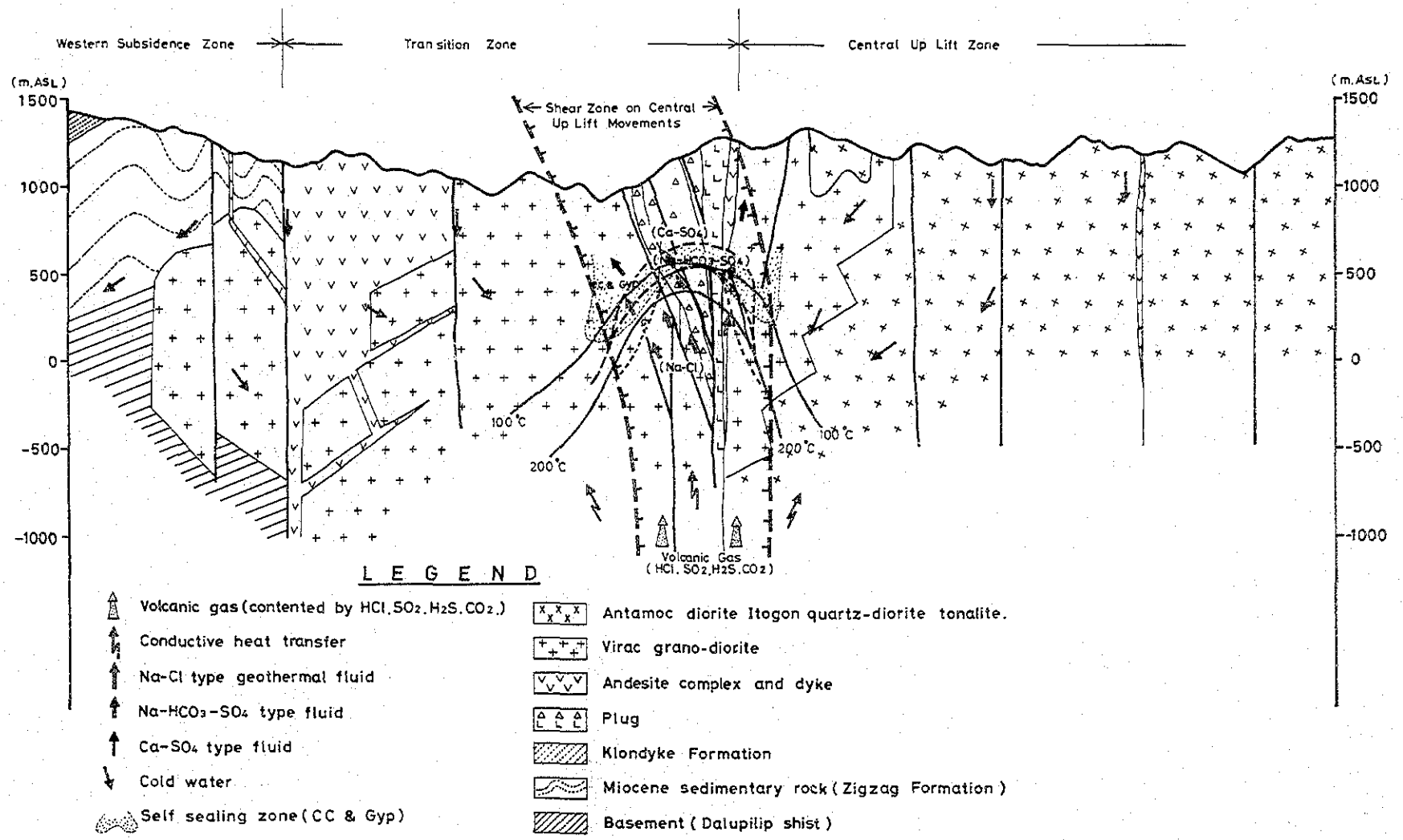

Fig. Ⅲ-2-1 Conception Model of Geothermal at the Acupan Itogon Area

第３章　結論と第三次調査に対する提言

第 3 章　結論と第三次調査に対する提言

3－1　結　　論

Acupan － Itogon 地区の地熱貯留層構造は，地質および地質構造的にみると，東部の中央隆起帯と西部の沈降帯の間に略S－Nに伸びる漸移帯の中に発生する主に断裂系に伴なう所謂，縦型の構造であると言える。そこは主に深成岩の一つに属する花崗閃緑岩からなり，さらに最も断裂系の発達した処では後に安山岩の貫入を被むる。

地熱系の熱源としては鮮新世末期から更新世にかけての安山岩質火砕岩の噴出及びそれに続く石英安山岩のプラグをもたらした火山活動で，この活動は漸移帯の中でS－N方向の断裂帯と，その後に形成されたNE－SW方向の断裂帯との交線に沿っての噴出であり，Balatoc プラグおよび Itogon プラグと称されている。活動の時代は40～100万年前で Acupan 鉱山の坑内および Itogon 橋近くでの沸騰泉はこのプラグに沿って地下深部から地表に湧出してる。

温泉水の化学組成からは230℃内外の高温の地下温度が推定されると共に，熱水中からの溶存物質の沈澱等に依り地表近くの上部には自己閉塞帯が形成され，これが地下深部の地熱流体に対して帽子岩として作用しているものと考えられる。

地表調査から推定される地熱構造モデルを検証する目的で地下の温度およびその分布を調査した。その結果，Acupan 鉱山および Itogon 橋を含むNE－SW方向に伸長した数平方キロメーターの範囲は地熱発電を目的とした開発に充分な地熱資源を持つ可能性の極めて高いことが明らかとなった。

従って本プロジェクトは第三次調査に継続する価値が充分にあると考えられ，次年度の調査として次の内容を提案する。

3－2　第三次調査に対する提言

熱源と地質構造，および測温孔調査から推定された地下温度分布を基に Acupan － Itogon 地区の地熱貯留層構造に関する概念モデルを考えた時，当地区は地熱発電を目的とした調査を継続する価値が充分にある処とおもわれ，従って第三次調査として，現在考えている地熱構造概念モデルで推定される地下の地熱流体を直接確認すべく，調査井を掘削することが必要と考えられる。掘削位置はFig. Ⅲ－3－1に示すとおり，A又はBが適当と考えられ，その深度は約1,500 m と考えられる。なほここで調査井を掘削する場合，地下で相当の高温が予想され，その際の突発事故を未然に防ぐ為，また仮に1,500 m まで掘削したが貯留層に縫着せず，さらに増掘が必要の時，即座に対応できるようにしておく為に，大坑径で掘削することが望ましく，1,500 m 深で 8″1/2 としたい。

Acupan － Itogon 地区の地熱開発計画調査は現在までの処，上記のとおり地熱資源のポテン

シアルとして高いものが考えられ，第三次調査への継続も有意義と考えられるが，その他下記の事由からフィリピン側のホローアップも期待されることを考え併わせると，第三次調査への移行は価値のあるものと考えられる。

(1) Acupan－Itogon地区およびその周辺は電力不足の状態にあり電力需要が高い。

(2) Acupan－Itogon地区に新規に地熱発電所を建設する場合，既設の送電線路および変電施設が利用でき，発電所の建設費が安くなる。

(3) 現地側のカウンターパートのB.E.Dは地熱開発に積極的であり，また技術力も高い。

(4) Acupan－Itogon地区の地熱資源を評価した結果が良かった場合，発電所建設の為の追加調査および建設工事等を遂行する組織がある。

以　上

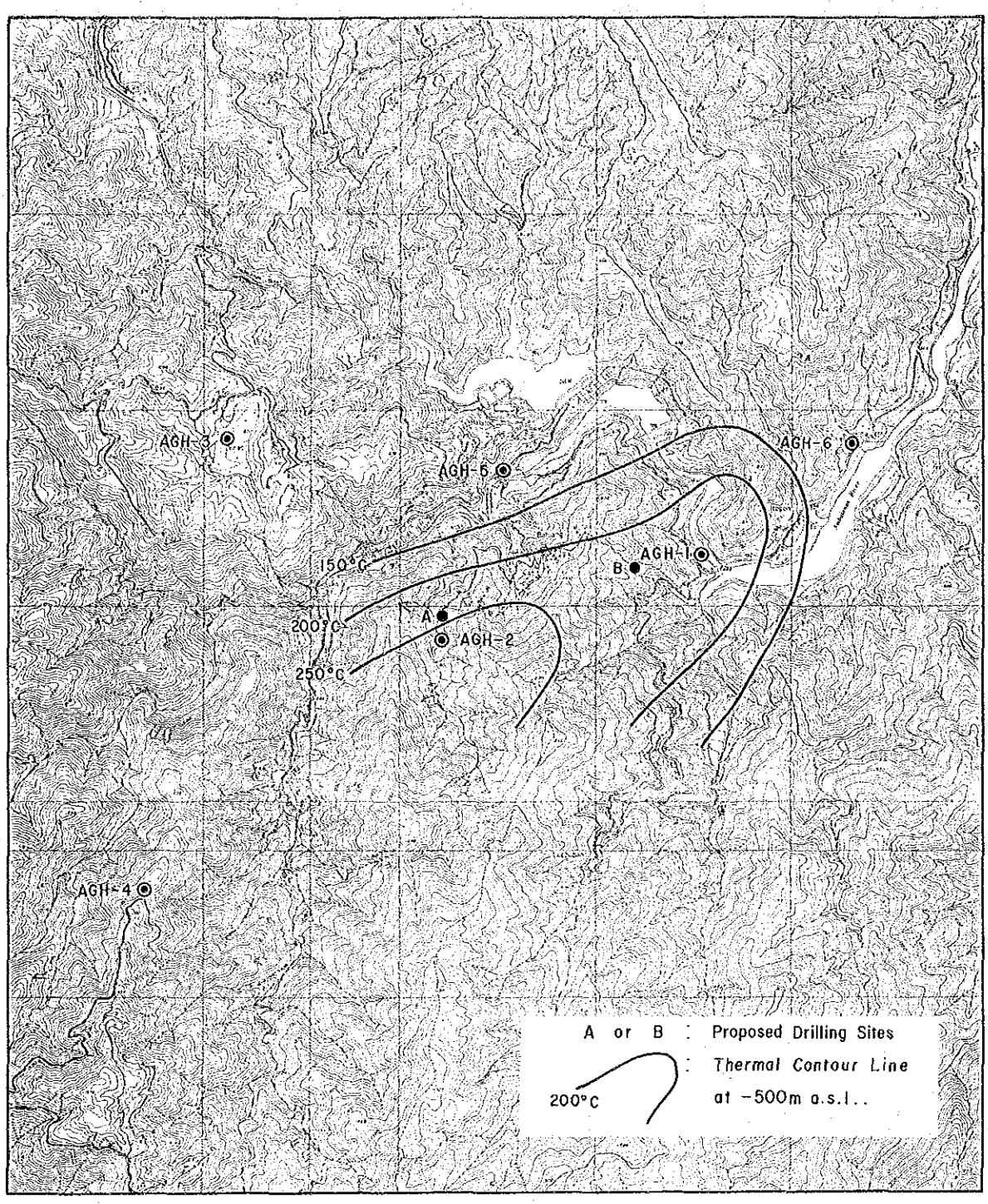

Fig. Ⅲ-3-1 Location Map of Proposed Deep Well

文　　献

References

Geological

Balce, G.R. et al. (1979): Geology of the Baguio District and its implication on the tectonic development of the Luzon Central Cordillera, Bureau of Mines and Geosciences, Manila, 1–123.

B.C.I (1970): Geology and mineralization at the Acupan mine and the Antamok mine, 1–34 (unpublished).

Corby, G.W. et al. (1951): *Geology and oil possibilities in the Philippines, Tech. Bull. 21*, 413–448.

Dickerson, R.S. (1932): The development of the Baguio Plateau, Phil. Jour. Sci., 25, 413–448

JICA (1983): Report on Acupan-Itogon Geothermal Development, First Phase Survey.

Leith, A. (1938): Geology of the Baguio district, Tech. Bull. 9, Department of Agriculture and Commerce, Manila.

MMAJ and JICA (1977): The report of mineral exploration in Northeastern Luzon.

Peña, R. (1969): Brief geology of a portion of the Baguio district, Jour. Geol. Soc. Phil., 24, 37.

Peña, R. and Reyes, N.V. (1971): Sedimentological study of a section of the "Upper Zigzag" formation along Bued River, Tuba, Benguet. Ibid, 7–17.

Santos, R.D. (1982): The geology of Southwestern Baguio District.

Schafer, P.A. (1954): *Some phases of the geology of the Baguio district, Proceding 8th Pacific* Sci. Cong. Ila, 347–355.

Sugimura, A. and Ueda, S. (1973): Islands Arcs – Japan and its Environs, pp. 235, Elsvier, Amsterdam.

Utada, M. (1974): An interpretation of the type of alteration in the Neogene sediments relating to the intrusion of volcano-plutonic complexes, correlating to the calculated temperature patterns, *Sci, Paper, Coll. Gen. Educ., Univ. Tokyo*, 24, 65–77.

Worley, Jr., B.W. (1967): Geology of the Antamok and Acupan gold mines of Benguet Consolidated, Mineral Engineering Magazine, 18.

Geochemical

Bureau of Energy Development–ELEC Electroconsult, S.P.A. (1979): Philippine-Italian Technical Cooperation on Geothermics Stage-II, Preliminary Assessment of Acupan, Benguet Province. (unpublished.)

Bureau of Energy Development (1982): Results of the Preliminary Geo-Chemical Survey of the

Acupan Geothermal Area. (unpublished.)

Craig, H. (1963): The Isotopic Geochemistry of Water and Carbon in Geothermal Areas, in Tongiorgi E., ed., Nuclear Geology on Geothermal Area, Spoleto, 1963, Pisa, 17–54.

Kingston Reynolds Thom & Allardice Limited (1979): Preliminary Reconnaissance of the Thermal Manifestations at the Acupan Gold Mine, Benguet Province, Luzon, Philippines. (unpublished.)

Sawkins, F.J., O'Neil J.R. and Thompson, J.M. (1979): Fluid Inclusion and Geochemical Studies of Vein Gold Deposits, Baguio District, Philippines. Economic Geology, Vol. 74, 1420–1434.

T. Ozawa (1967): Geochemical Analysis of Gas Samples in Geothermal Area. Jour. of Japan Geothermal Energy Association, No. 9, 12–16.

Geophysical

T. Utsu (1977): Seismology (in Japanese), p. 286, Kyoritsu Publications, Japan

T. Danbara and Y. Tomoda (1969): Geodesy and Geophysics (in Japanese), p. 286, Kyoritsu Publications, Japan

I. Yokohama (1976): Earthquakes and Volcanoes (in Japanese), p. 166, Tokai Univ. Press, Japan

S. Miyamura (1968): Earthquake, Volcano and Rock Properties (in Japanese), p. 357, Kyoritsu Publications, Japan

Seismological Society of Japan (1967): Overview of Seismology in Japan (in Japanese), p. 326, Zishin II, Vol. 20, No. 4

K. Tsumura (1967): Extimation of earthquake magnitude using the time of duration (in Japanese), Zishin II, Vol. 20, No. 1, pp. 30–40.

A. Watanabe (1971): Magnitude of Local Earthquakes (in Japanese), Zishin II, Vol. 24, No. 3, pp. 189–200

T. Seno and K. Kurita (1978): Focal Mechanisms and Tectonics in the Taiwan – Philippine Region, J. Phys. Earth, Vol. 26, Suppl., S249–S263

W.H.K. Lee and J.C. Lahr (1975): A Computer Program for Determining Hypocenter, Magnitude, and First Motion Pattern of Local Earthquakes, U.S.G.S., Open-File Report 75–311