

伊那層群の古地磁気極性

菅沼 悠介*

Paleomagnetic polarity of the Ina Group
Yusuke Suganuma*

東京都立大学大学院理学研究科 〒192-0397 八王子市南大沢 1-1

長野県南部伊那谷に分布する伊那層群について古地磁気学的研究を行い、得られた古地磁気極性から堆積年代を推定した。伊那層群中の7層準から古地磁気測定用試料を採取し、全地点の試料に段階熱消磁実験を行った。この結果、下位より、6層準が逆帯磁を示し、最上位の1層準が正帯磁を示した。最下位層準の試料である喬木村富田の富田テフラが第三紀・第四紀境界層準の広域テフラである恵比寿峠-福田テフラに対比され、最上位層準の試料である久米テフラが更新世中期の広域テフラである樋脇テフラと対比されることから、逆帯磁を示す試料はマツヤマ逆クロンのオールドバイサブロンより上位に、正帯磁を示す試料はブルークロンに堆積したと考えられる。

キーワード 伊那層群, 堆積年代, 古地磁気極性

はじめに

長野県南部伊那谷には、鮮新-更新統伊那層群が分布する。伊那層群は、松島(1976; 1995)により層序学的研究がなされており、下位より、福与礫層を主体とする最下部層、凝灰角礫岩層であるミソベタ部層を境界として、下部と上部に細分される伊那累層、久米礫層および柳沢礫層などからなる最上部層の3つに区分されている。これらの堆積年代については、松島・寺平(1990)が、ミソベタ部層直下のうるし沢テフラのFT年代測定を行い、 1.97 ± 0.2 Maの放射年代測定値を得ている。また、ミソベタ部層と塩嶺累層の対比から伊那層群の堆積年代の推定がされている。松島(1995)は、ミソベタ部層の堆積年代をMomose et al. (1959)の塩嶺累層の古地磁気学的研究による年代推定から、鮮新世末としたのに対して、森山(1989; 1990)は塩嶺累層の放射年代値(Momose et al., 1966)から約1.3 Maとしている。一方、伊那層群に挟在するテフラの広域テフラとの対比からも堆積年代が推定されている。久米礫層に挟在する久米テフラと更新世中期の広域テフラである樋脇テフラが対比されることを示した(菅沼, 2002MS)。菅沼(2001)は、伊那層下部に挟在する富田テフラを恵比寿峠-福田テフラ(長橋, 2000)を対比し、伊那層下部の堆積年代を1.75 Maを含む更新世前期とした。

以上のように報告されている伊那層群の堆積年代には、大きな見解の相違が生じている。本研究ではこの点に注目し、伊那層群について堆積物の残留磁化測定を行い、伊那層群の堆積年代を古地磁気学的見地より推定した。

試料採取と残留磁化測定

試料採取は、携帯型エンジンドリルを用いる方法と、ブロックで採取する方法で行った。前者は、携帯型エンジンドリルを用いて、直径25 mm長さ5~8 cmの円柱状試料を3~8本採取した。後者は、地層の固着度が低く前者の方法が適応できない場合に、露頭から数個の人頭大のブロック試料を採取した。古地磁気測定用試料はその残留磁化方位を測定するため、定方位で試料を採取する必要がある。このため、試料採取の際、試料の走向傾斜を磁気コンパスで測定し、その試料のオリエンテーションとした。採取した円柱状試料およびブロック試料は、実験室において、古地磁気測定用試料片に整形した。円柱状試料の場合、長さ約1.5 mmの円柱に切断した後、体積の計測を行った。ブロック試料の場合、1~3個の7 ccのポリカーボネイトキュービックに入るような立方体試料に切断・整形し、アルミホイルで包んだ。全試料は乾燥・変質を防ぐため、密封後に冷蔵庫にて保管した。

一般に、古地磁気測定では、各試料片の残留磁化成

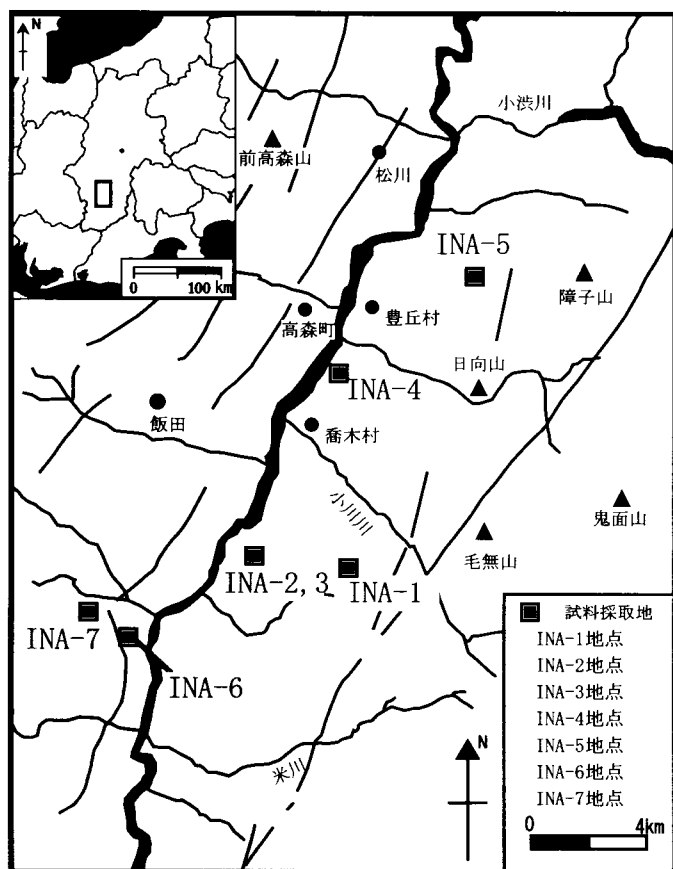


図1 研究対象地域と古地磁気測定用試料採取地

本研究では、段階熱消磁実験での加熱による磁性鉱物の変質をモニターするために帯磁率を測定した。全地点から1個の試料片を選び、各消磁段階において帯磁率を測定した後、各試料片の体積を10ccに規格化し、比較検討した。帯磁率の測定には茨城大学所有のBartington社製Magnetic Susceptibility Meter Model MS-2を使用した。また、試料の飽和獲得磁化のスペクトルから強磁性鉱物を判別するため、等温残留磁化(IRM)着磁実験を行った。等温残留磁化(IRM)着磁実験は試料に対し、一定方向の直流磁場を0~2000mTまで25~500mTごと11段階にて行った。等温残留磁化の着磁には茨城大学所有Magnetic measurements社製Pulse-Magnetizer MMPM9を使用した。

結果

本研究では、伊那層群中の7層準より古地磁気測定用試料を採取した。以下に各層における、試料採取地点および残留磁化測定結果を報告する。また、伊那層群はほとんど傾斜をしていないため、各試料片の傾動補正は行っていない。

分の安定性と検討し、残留磁化方位の認定をするために消磁実験をおこなう。本研究では、全地点から3~8個の試料片を選び、段階熱消磁実験を行った。段階熱消磁実験は、各試料片を段階的に加熱し、ブロッキング温度(キュリー温度)の低い磁化成分を取り除いていく手法であり、シールドルーム内の無磁場に近い空気中で、100℃~600℃まで50℃ごとに行った。残留磁化測定には茨城大学所有の2G Enterprises社製超伝導磁力計SQUID((Model750R)、試料の消磁には茨城大学所有の夏原技研製の熱消磁装置DEM-8602を使用した。測定後、各消磁段階の磁化成分を、ザイダ-ベルト図(Zijderveld, 1956)と、シュミットネット投影図に示し、磁化成分の検討を行った。その結果、特徴的残留磁化と考えられる磁化成分をKirschvink(1980)に従って最小二乗法によって解析し、その試料の残留磁化方位とした。また、各試料から得られた磁化方位をFisher検定し(Fisher, 1953)、 $\alpha 95$ と κ (集中度パラメーター)を求めた。 $\alpha 95$ は、平均方向を中心とした円錐の半頂角で、その円錐が単位球面と交わってできる小円の範囲内に新の平均方位が存在する確率が95%であることを意味し、 κ (集中度パラメーター)は、分布のまとまり程度を表す。

(1) 伊那層下部

伊那層下部では、INA-1~3地点の3層準で試料採取を行った(図1)。INA-1地点は、喬木村富田における富田テフラ1であり、6個の円柱状試料を採取した。INA-2,3地点は、飯田市下久方における小林テフラの下位から、2層準、それぞれ5個と3個の円柱状試料を採取した。段階熱消磁実験結果の代表例を図2に、加熱に伴う帯磁率の変化と、等温残留磁化着磁実験の結果を図3に示す。

INA-1 地点

INA-1地点は逆帯磁を示す。段階熱消磁実験から200~600℃の段階加熱によって原点にはほぼ直線的に収束する磁化成分が得られた。このうち150℃以下の加熱で消磁される磁化成分は二次磁化成分と判断され、200~600℃の段階加熱で消磁される磁化成分は特徴的残留磁化方位(ChRM)と解釈される。また、段階加熱による帯磁率の変化は見られないことから、加熱によって新たな磁性鉱物は生成されていないと考えられる。しかし、600℃までの段階加熱によっても磁化成分が十分に消磁されていないことから、ヘマタイトの存在が示唆される。等温残留磁化着磁実験によると、

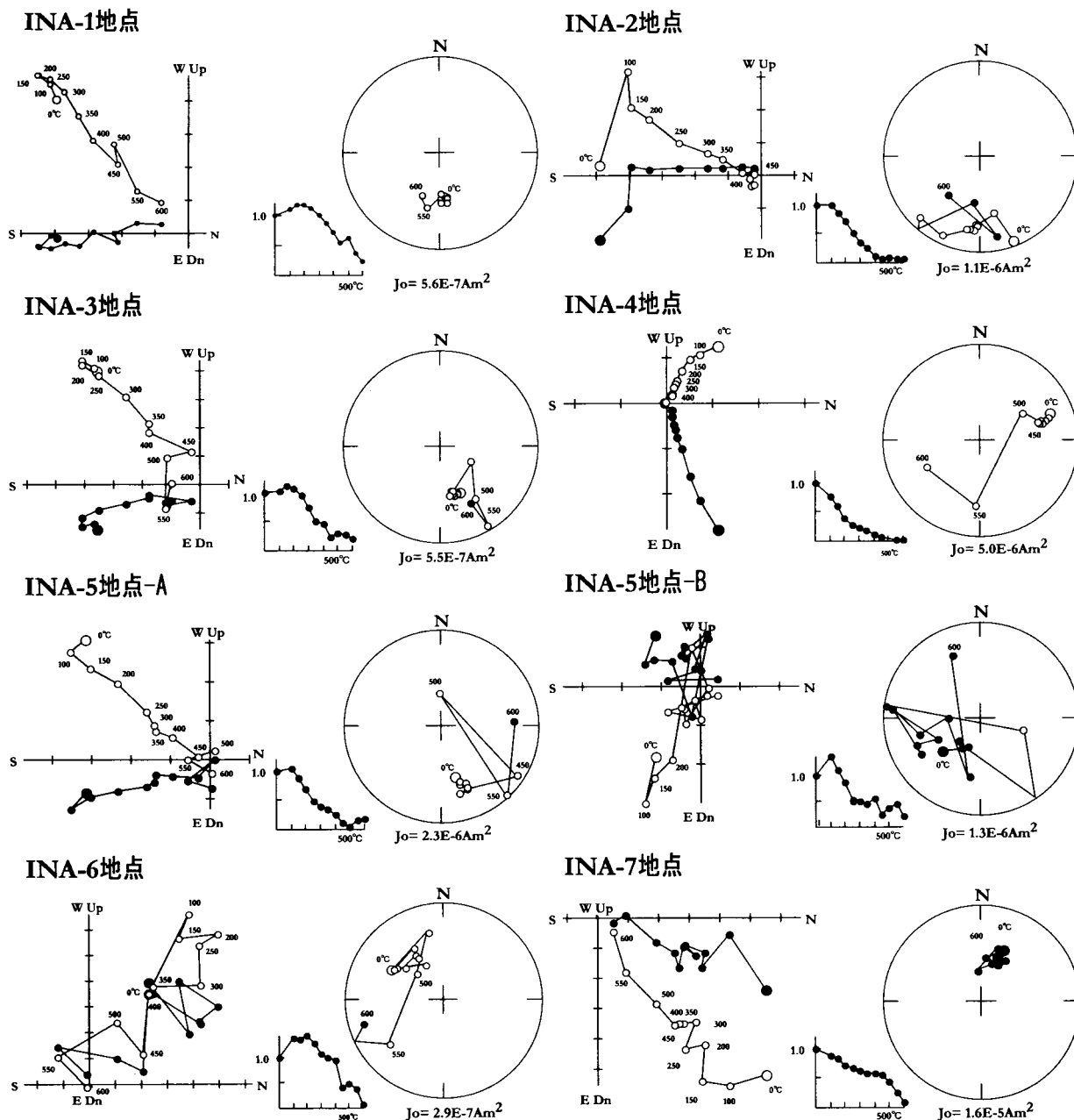


図2 段階熱消磁実験結果の代表例。左側にザイダーベルト図にプロットしたものを示す。黒丸は水平面、白丸は南北方向の垂直面への投影。右側にシュミットネット投影図を示す。黒丸は下半球、白丸は上半球投影と磁化強度減衰曲線を示す。図中の数字は消磁温度(°C)を示す。

マグネタイトを主に含む他に、ヘマタイト、硫化鉄などの異なった飽和獲得磁化を持つ磁性鉱物の存在が示唆される。これらの磁性鉱物は風化によって生成されたと考えられるが、段階加熱に伴う磁化方位の変化があまり見られないことから、無視できると考えられる。このため、INA-1地点の試料片に対しては、200~600°Cの段階加熱で消磁される磁化成分から平均磁化方位を求めた。

INA-2 地点

INA-2 地点は逆帯磁を示す。段階熱消磁実験から100~450°Cの段階加熱によって原点に直線的に収束する磁化成分が得られた。このうち100°C以下の加熱で消磁される磁化成分は二次磁化成分と判断され、150~450°Cの段階加熱で消磁される磁化成分は特徴的残留磁化方位(ChRM)と解釈される。しかし、500°C以上の消磁段階では、磁化成分が安定しない。これは段階加熱に伴う帯磁率の変化によっても確認されるよ

うに、加熱により新たな磁性鉱物が生成されていると考えられる。ところが、500°Cの消磁段階において磁化強度が自然残留磁化強度の10%以下に落ちており、無視できるレベルであると考えられる。このため、INA-2地点の試料片に対しては、150~450°Cの段階加熱で消磁される磁化成分から平均磁化方位を求めた。

INA-3 地点

INA-3 地点は逆帯磁を示す。段階熱消磁実験から100~400°Cの段階加熱によって原点に直線的に収束し、450~600°Cの段階加熱によって不安定な磁化方位を示す磁化成分が得られた。このうち100°C以下の加熱で消磁される磁化成分は二次磁化成分と判断され、150~450°Cの段階加熱で消磁される磁化成分は特徴的残留磁化方位 (ChRM) と解釈される。600°Cまでの段階加熱によっても磁化成分が十分に消磁されていないことから、ヘマタイトの存在が示唆される。これは、450~600°Cの段階加熱でみられる不安定な磁化成分の原因であると考えられる。また、帯磁率の増加が認められないことから新たな磁性鉱物は生成されていないと考えられるが、等温残留磁化着磁実験によると、主に含まれるマグネタイトの他に、ヘマタイト、硫化鉄などの磁性鉱物の存在が示唆される。このため、INA-3地点の試料片に対しては、100~400°Cの段階加熱で消磁される磁化成分から平均磁化方位を求めた。

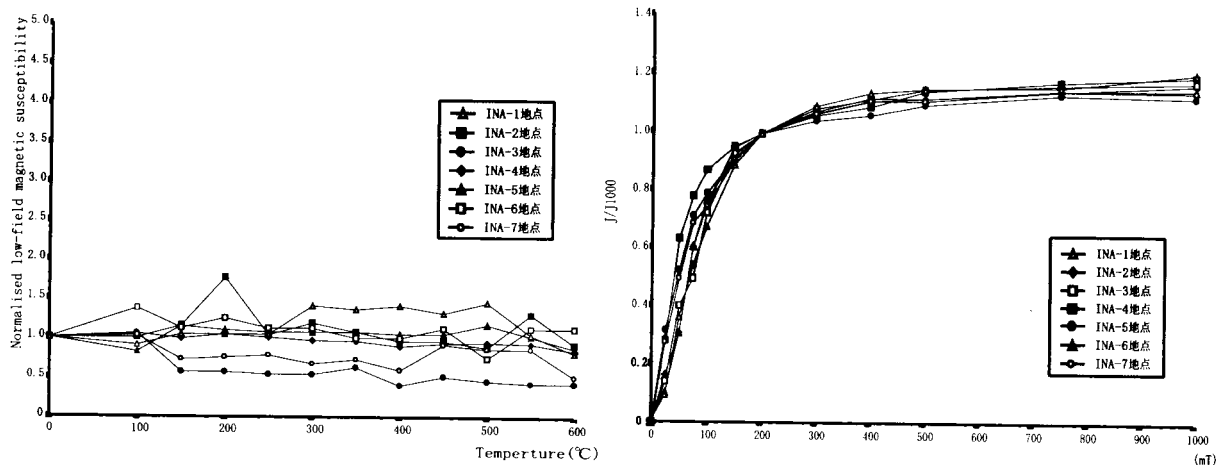
(2) ミソベタ部層

ミソベタ部層では、INA-4 地点の1層準において試料採取を行った (図1)。INA-4 地点は、豊岡村源道

寺におけるミソベタ部層直下の火山灰質シルト層であり、3個の円柱状試料を採取した。段階熱消磁実験結果の代表例を図2に、加熱に伴う帯磁率の変化と、等温残留磁化着磁実験の結果を図3に示す。

INA-4 地点

INA-4 地点は信頼性には欠けるが逆帯磁を示すと考えられる。これは段階熱消磁実験において、段階加熱の進行とともに残留磁化方位が現在の地球磁場方位から離れる傾向を示したためである。しかし、明瞭に原点に収束する磁化成分を得ることが出来なかった。これは、初生磁化成分と二次磁化成分のブロッキング温度範囲が重なり、それぞれを分離できなかったためと考えられる。また、段階加熱による帯磁率の変化は見られないことから、加熱によって新たな磁性鉱物は生成されていないと考えられる。等温残留磁化着磁実験によると、主に含まれるマグネタイトの他に、ヘマタイト、硫化鉄などの異なった飽和獲得磁化を持つ磁性鉱物の存在が示唆され、これらの磁性鉱物は風化によって生成されたと考えられる。このうち、硫化鉄は350°Cまでの段階加熱により消磁され、ヘマタイトは600°Cまでの段階加熱により消磁される。350°Cの消磁段階において、磁化強度が自然残留磁化強度の20%以下に落ちていることから、多くの磁化成分が硫化鉄による二次磁化であると判断される。段階熱消磁実験によってもこの二次磁化を分離することが出来なかったため、特徴的残留磁化方位を得られなかったと考えられる。以上のことから、INA-4地点を逆帯磁と判断したが、平均磁化方位は求めることが出来なかった。



第3図 帯磁率変化および等温残留磁化着磁実験結果 左側に段階熱消磁の各加熱段階における帯磁率の変化を示す。右側に等温獲得残留磁化実験結果を示す。

| 試料名 | 採取地 | 層相 | 試料数 | 偏角 | 伏角 | 信頼角 | K | 極性 |
|-------|--------|------|-----|-------|-------|------|-------|----|
| INA-1 | 喬木村富田 | tuff | 5 | 187.1 | -35.4 | 9.2 | 70.2 | R |
| INA-2 | 飯田市下久堅 | tuff | 5 | 189.3 | -41.7 | 17.0 | 21.5 | R |
| INA-3 | 飯田市下久堅 | tuff | 3 | 159.3 | -45.1 | 17.0 | 53.9 | R |
| INA-4 | 豊丘村源道寺 | silt | 3 | | | | | R |
| INA-5 | 豊丘村堀越 | sand | 10 | 162.5 | -38.9 | 19.3 | 41.7 | R |
| INA-6 | 飯田市川路 | tuff | 3 | | | | | R |
| INA-7 | 飯田市久米 | tuff | 3 | 11.7 | 47.7 | 5.3 | 205.7 | N |

表1 伊那層群の古地磁気データ。採取地、層相、試料数、および極性を示した。また、平均磁化方位、信頼角、および集中度パラメーターKは得られた試料に限り示した。

(3) 伊那層上部

伊那層上部では、INA-5、6地点の2層準において試料採取を行った(図1)。INA-5地点は豊岡村堀越におけるミソベタ部層の上位約20mの細粒砂層であり、10個の円柱状試料を採取した。INA-6地点は飯田市川路における袖ヶ洞テフラであり、3個のブロック試料を採取し、6個の試料片を作成した。段階熱消磁実験結果の代表例を図2に、加熱に伴う帯磁率の変化と、等温残留磁化着磁実験の結果を図3に示す。

INA-5地点

INA-5地点は逆帯磁を示す。段階熱消磁実験から、2つの磁化特性を持つ集団に区分した。1つは第2図のINA-5地点-Aに代表される、逆帯磁を示し100~450℃の段階加熱によって原点に直線的に収束する磁化成分を持つものであり、もう1つは、INA-5地点-Bに代表される不安定な磁化成分を示し、段階加熱によっても原点に収束しない磁化成分を持つものである。INA-5地点-Aに代表されるグループについては、100℃以下の加熱で消磁される磁化成分は二次磁化成分と判断され、150~450℃の段階加熱で消磁される磁化成分は特徴的残留磁化方位(ChRM)と解釈される。しかし、500℃以上の消磁段階では、磁化成分が安定しない。これは段階加熱に伴う帯磁率の変化によっても確認されるように、加熱により新たな磁性鉱物が生成されていると考えられる。ところが、500℃の消磁段階において磁化強度が自然残留磁化強度の10%以下に落ちており、無視できるレベルであると考えられる。以上のことから、INA-5地点-Bに代表される不安定な

磁化成分を持つ試料片から得られた結果は全て廃棄し、INA-5地点-Aに代表される特徴的残留磁化方位の得られたものから平均磁化方位を求めた。

INA-6地点

INA-6地点は信頼性には欠けるが逆帯磁を示すと考えられる。これは段階熱消磁実験において、段階加熱の進行とともに、残留磁化方位が現在の地球磁場方位から離れる傾向を示したためである。しかし、明瞭に原点に収束する磁化成分を得ることが出来なかった。これは、INA-4地点と同じく初生磁化成分と二次磁化成分のブロッキング温度範囲が重なり、それぞれを分離できなかったためと考えられる。また、段階加熱による帯磁率の変化が見られ、加熱によって新たな磁性鉱物は生成されていると考えられる。等温残留磁化着磁実験によると、主に含まれるマグネタイトの他に、ヘマタイト、硫化鉄などの異なった飽和獲得磁化を持つ磁性鉱物の存在が示唆される。以上のことから、INA-6地点を逆帯磁と判断したが、平均磁化方位は求めることが出来なかった。

(4) 久米礫層

久米礫層では、INA-7地点の1層準において試料採取を行った(図1)。INA-7地点は飯田市久米における久米テフラであり、3個のブロック試料を採取し、6個の試料片を作成した。段階熱消磁実験結果の代表例を図2に、加熱に伴う帯磁率の変化と、等温残留磁化着磁実験の結果を図3に示す。

INA-7 地点

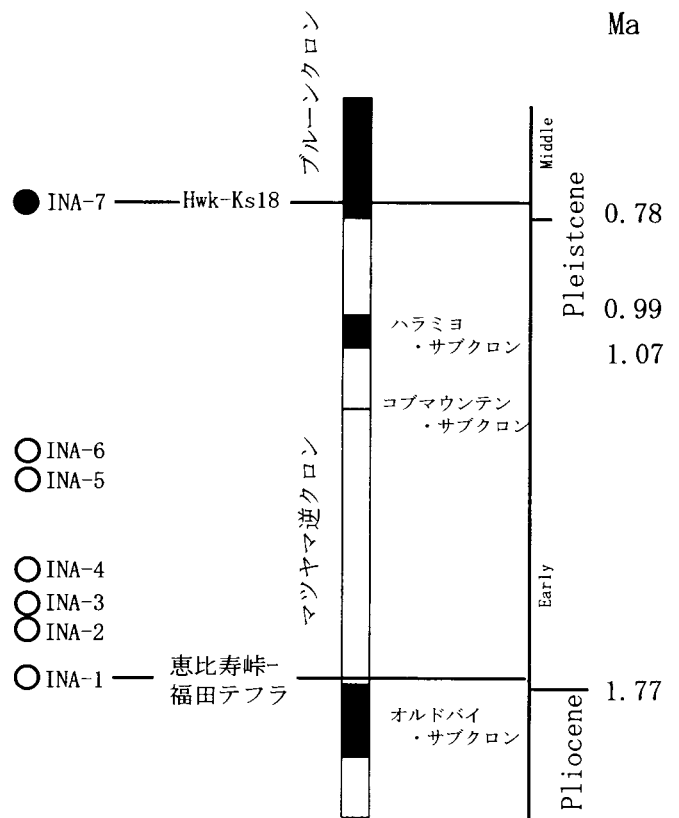
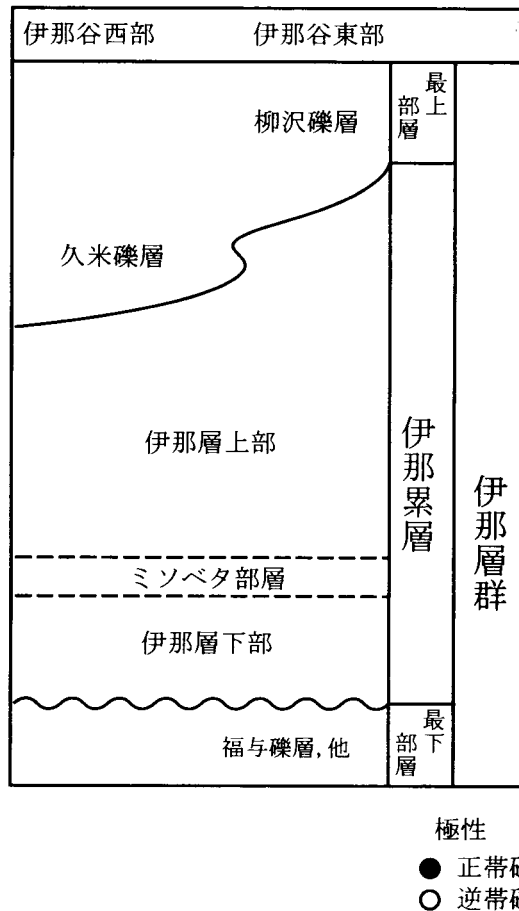
INA-7 地点は正帯磁を示す。段階熱消磁実験から100～450℃の段階加熱によって原点に直線的に収束する磁化成分が得られた。このうち100℃以下の加熱で消磁される磁化成分は二次磁化成分と判断され、150～450℃の加熱で消磁される磁化成分は特徴的残留磁化方位 (ChRM) と解釈される。また、段階加熱による帯磁率の変化は見られないことから、加熱によって新たな磁性鉱物は生成されていないと考えられる。このため、INA-7 地点の試料片に対しては、150～450℃の段階加熱で消磁される磁化成分から平均磁化方位を求めた。

以上の実験により得られた古地磁気測定結果を表1および図4に示した。INA-1～3, 5 地点の各試料は逆帯磁、INA-7 地点は正帯磁、INA-4, 6 地点の各試料はやや信頼性にかけるものの、逆帯磁と考えられる。

考察

本研究で得られた残留磁化方位測定の結果 (図4, 表1) は、伊那層下部・上部は逆磁極期に、久米礫層が正磁極期に堆積したことを示唆している。この結果と富田テフラと恵比寿峠・福田テフラの対比から、伊那層下部・上部は、マツヤマ逆クロンのオールドバイサブクロンより上位に堆積したと考えられる。しかし、コブマウンテンサブクロン、およびハラミヨサブクロンとの上下関係についてのこれ以上の議論は難しい。これに対し、久米礫層は、久米テフラと樋脇テフラとの対比の結果からも示唆されるように、更新世中期、ブルンクロンに堆積したと考えられる。以上の結果は、今まで年代試料に乏しかった伊那層群の堆積年代に貴重なデータを提供する。

松島 (1976) による伊那層群の区分



(Cande and Kent, 1995を改編)

図4 伊那層群の古地磁気層序学的データとテフラの対比。本研究で得られた古地磁気極性データを、松島 (1976) の伊那層群の層序区分に従いプロットした。また、Machida (1999) 菅沼 (2001), および菅沼 (2002MS) に従いテフラの対比関係と噴出年代を示した。標準古地磁気層序は、Canda and Kent, 1995に基づく。

謝辞

本研究を進めるにあたり東京都立大学の菊地隆男教授、山崎晴雄教授、鈴木毅彦博士、山田周二博士には、研究全般についての数多くのご助言を頂いた。茨城大学の岡田誠助教授には、古地磁気測定用機器の使用を快諾して頂くとともに、古地磁気学全般についてご指導・ご教示を頂いた。松島信幸博士には、本研究地域の貴重な資料・情報のご教示を頂いた。飯田美術博物館の小泉明裕氏には、現地での古地磁気試料採取を手伝って頂くとともに、有益なご意見を頂いた。東京都立大学大学院理学研究科の植木岳雪氏には、さまざまなご助言を頂いた。記して厚くお礼申し上げます。

引用文献

- Cande, S. C. and Kent, D. V., 1995, Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Jour. Geophys. Res.*, **100**, 6093-6095.
- Fisher, R., 1953, Dispersion on a sphere. *Proc. Roy. Soc. Lond., Ser. A*, **217**, 295-305.
- Kirschvink, J. L., 1980, The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **62**, 699-718.
- Machida, H., 1999, Quaternary widespread Tephra Catalog in and around Japan : Recent progress, *Quaternary research*, **38**, 194-201.
- Momose, K., Kobayashi, K. and Yamada, T., 1966, Radiometric age of lava flow of the Enrei formations in central Japan (1). *Jour. Fac. Sci., Shinshu Univ.*, **1**, 93-96.
- Zijderveld, J. D. A., 1967, A. C. demagnetization of rocks : analysis of results. In Collinson, D. W., Creer, K. M. and Runcorn, S. K., eds., *Method in paleomagnetism*, Elsevier, Amsterdam, 254-286.
- 長橋良隆, 2000, 本州中央部における鮮新-更新世の火砕流堆積物と広域火山灰層との対比および層位噴出年代, *地質雑*, **106**, 51-69.
- 下伊那地質誌編集委員会, 1976, 下伊那の地質概説, 下伊那地誌編纂会, 329p.
- 松島信幸, 1995, 伊那谷の造地形史-伊那谷の活断層と第四紀地質-. 飯田市美術博物館調査報告書, **3**, 145p.
- 森山昭雄, 1990, 中部山岳地域における山地形成の時代性-山はいつ高くなったか?-. *変動地形とテクトニクス*, 87-109.
- 森山昭雄・光野克彦, 1989, 伊那谷南部, 伊那層の堆積構造からみた木曾・赤石両山脈の隆起時期, *地理学評論*, **62** A-10, 691-707.
- 菅沼悠介, 2001, 長野県南部に分布する鮮新-更新統伊那層群の地質構造と堆積年代, 日本地質学会第105年学術大会講演要旨, 51.
- 菅沼悠介, 2002MS, 鮮新-更新統, 伊那層群の年代・層序とそこからみた木曾赤石両山脈の隆起過程, 東京都立大学修士論文.