

はじめに

褶曲軸 (fold axis) という言葉は、高校地学の教科書にもとりあげられるほどに地質学の基本用語とみなされている。ところがその定義について、後述のように3通りの理解がなされている。以下、それらを定義A、定義B、定義Cとする。学会発表などから察するに、地質学の専門家の9割くらいが、定義Bと定義Cを混ぜて使っているようである。残りの方々は定義Aである。複数の用例が混在する状況は、海外では定義Aが支配的になる方向で終息に向かっているが、国内では終息する気配がない。すでに佐藤 (2003) がこの混乱を紹介しているのだが、学会発表や投稿原稿から推測すると、地質学の専門家でも大多数が混乱自体に気づいておられないらしい。困ったことに、高校地学の教科書は混乱を再生産している。

混乱の終息のために、ここで改めて問題点を指摘したい。そして欧米の動向をたどって、この混乱が収束しつつある様子を概観する。最後に国内の状況を素描する。

併存する3通りの定義

定義Aにおいては、褶曲軸は褶曲構造の特定部位をさす言葉ではなく、方向をあらわす。すなわち、Fig. 1aのようにある線分 (図中の太実線) をその方向を維持したまま三次元空間で移動させたときにできる曲面を考える。そして、褶曲した地層面の形状がこの曲面であらわされるなら、この線分の方向を褶曲軸という。これが定義Aである。そして、そのような形態の褶曲を、円筒褶曲 (cylindrical fold) という。円筒褶曲では、褶曲軸と直交する任意の断面で、金太郎飴のように同じ形が現れる。定義Aの褶曲軸は、散在する小露頭で測った地層の走向傾斜から、地質図スケールの褶曲構造を、三次元的にとらえるための手がかりなのである。非円筒褶曲では、そもそも褶曲軸が存在しない (e.g., Twiss and Moores, 2007, p. 279)。ただし円錐褶曲 (conical fold) では褶曲軸を定義できるのだが (Twiss and Moores, 2007)、議論が細かくなりすぎないよう、ここではそれに踏み込まない。

定義Bでは、冠線 (crest line) と底線 (trough line) を褶曲軸とする。褶曲の尾根線と谷線のことを、冠線と底線という (Fig. 1a)。褶曲の横断面で、一枚の地層の最高点が冠、最低点が底である。

定義Cの褶曲軸は、ヒンジ線 (hinge line) と同義である。ヒンジ線とは1枚の地層面にそって、曲率が最大となる点を結んだ線のことである。上下に重なる地層面には、それぞれにヒンジ線があるが、それらを結ぶ面を褶曲軸面 (axial surface) という (Fig. 1a)。褶曲軸面という言葉は「褶曲軸」を部分として含むので、ヒンジ線イコール褶曲軸という解釈を生みやすい。後述のように、褶曲の軸という言葉の原義に忠実なのは、定義Cである。

褶曲軸とヒンジ線と冠線・底線は一般に一致しないので、3つの定義が併存することは混乱のもとである。曲率が一樣でヒンジ線が不明瞭な褶曲もあるが、それでも冠線・底線は存在する。円筒褶曲なら、ヒンジ線の方向と定義Aの褶曲軸はイコールである。円筒褶曲で、なおかつ褶曲軸面が直立していれば、冠線と底線がヒンジ線と一致する。そうでない円筒褶曲の例をFig. 1aに描いた。他方、伊藤 (1979) が記載したような非円筒状の多面体状褶曲では、冠線や底線と高角で交わるヒンジ線が存在する。また、冠線が両方向に傾き下がるカルミネーション構造では、厳密には褶曲軸は存在しないが、ヒンジ線は存在する。

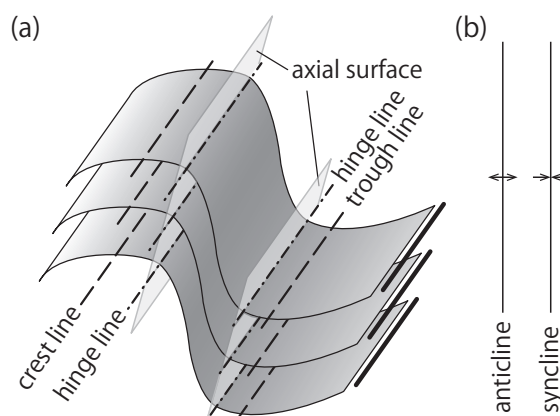


Fig. 1. (a) Terminology of folds. Thick lines indicate the orientation of fold axis in the definition A. (b) Map symbols of anticline and syncline. (a) 褶曲についての用語の説明。太実線が定義Aの褶曲軸の方向をあらわす。(b) 地質図における背斜と向斜の記号。

海外の動向

褶曲軸という語にまつわる混乱は、日本だけのものではない (佐藤, 2003)。19世紀末のものから地質構造について詳述した教科書を見てゆくと、その語に明快な定義が与えられないながらも用法が一通りだった状態から、明確な定義を複数与えられた混乱をへて、しだいに統一されてゆきさまが見て取れる。

19世紀末から20世紀の戦間期まで広く読まれたものとして、Geikie兄弟の教科書がある。そのころはまだfold axisという熟語はなかったようで、この語に明確な定義は与えられていない。しかし、兄ArchibaldのText-Book of Geologyでは、地層は褶曲の軸にそって曲げられると書いている (Geikie, 1882, p. 517, [URL1])。向斜では軸に向かって地層が傾くとしているので、定義Cを意図していたことがわかる。弟JamesのStructural and Field Geologyの記述も同様である (Geikie, 1905; 第2版は[URL2]で閲覧可)。また、Leith (1913) も同様である。褶曲軸ないし褶曲の軸の原義は、今日いうところのヒンジ線だったらしい。

第一次世界大戦より前の教科書では褶曲構造の多様性が列挙されていたが、戦後の教科書では褶曲構造のanatomyが扱われるようになる。また、褶曲を専門に扱う本 (Busk, 1929) まで書かれるようになる。そして、褶曲関連の記載用語を拡充するなかで、褶曲軸について複数の定義が併存するようになった。冠線・底線がかならずしもヒンジ線と一致しないことは、ゲイキーの時代からわかっていたが、Willis (1923), Nevin (1931), Willis and Willis (1934) は定義Bを採用している。また、Stočes and White (1935) は定義Aを、Billings (1942) は定義Cを採用している。ただしWillisらの記述は、褶曲軸という言葉が何をさすか不明確なところがある。Busk (1929) による褶曲に関する専門書では、褶曲軸の代わりにヒンジ線をapexとよんで議論を展開している。定義Aを採用した戦間期の論文としてはWegmann (1929) がある。Hills (1940) は定義Cを提示したすぐ後で、褶曲軸あるいは褶曲の軸線という言葉が、当時複数の意味で使われていたことを記録している。20世紀前半の教科書中の図を見ると、著者らは非円筒褶曲にあまり配慮していなかったように見える。それならたしかに、褶曲軸とヒンジ線の違いについて寛容でいられる。

第二次世界大戦後の論文では、McIntyre (1950) が定義Aを採用している。また、Donath and Parker (1964) は褶曲について浩瀚なレビューをするなかで、自分たちは定義Aを好むという書き方をしている。教科書紹介にもどると、Witten (1966)、Ramsay (1967)、Hobbs et al. (1976) が定義Aである。

1980年代からは定義Aを採用する教科書が多くなるので、それらを列挙することはしない。1982年の時点で、Roberts (1982) が次のように書いている：かつてヒンジ線と褶曲軸は同義語とされたが、それらは今やはっきり分けて考えられていると。同じ年に、Bates and Jackson (1982) は定義Aと定義Cを列挙しながらも、後者の使用はもはやまれであるとしている。

しかし1980年代以降、さらに近年でも、定義Cを採用する教科書が出版ないし改版されている (Suppe, 1985; Hatcher, 1990; Park, 1983, 1989, 2000), Oxfordの地学事典は最近の版でも定義Cである (Allaby, 2013)。さらにまた、1960年代から版を重ねたBennison et al. (2013) の教科書も定義Cである。最近評判のFossenの教科書は、初版では定義Cだったが (Fossen, 2010)、第2版では定義Aになっている (Fossen, 2016)。

地質学の術語の変化をたどるうえで、米国地質学研究所が刊行する*Glossary of Geology*が参考になる。編著者が交代しながら長いあいだ版を重ねてきたため、定義の変化あるいはその普及の程度を、時代を追ってうかがうことができるからである。同書の前身である*Glossary of Geology and Related Sciences*の第1版と第2版では、axis [fold] の項目で定義Bを提示している (American Geological Institute, 1957, 1960)。 *Glossary of Geology*の初版 (Gray et al., 1972) では定義Cを提示したうえで、それは冠線と底線と一致するとある。つまり、暗黙裡に直立した褶曲軸面を想定し、定義B=定義Cと考えている。第2版と第3版では定義Aと定義Cを紹介しながらも、後者は今日用例が少ないとしている (Bates and Jackson, 1982, 1987)。ところが第4版 (Jackson, 1997) になると、axis [fold] の項目は同じだが、新設されたfold axisの項目では定義Bを採用している。最新の第5版 (Neuendorf et al., 2005) でもaxis [fold] のところは変わらないが、fold axisのほうは定義Aに変更された。半世紀のあいだ同書の記述は揺れながら、定義Aに収束してきたわけである。

## 国内の状況

国内は混乱したままである。まず、『地学事典』ではどうか。植村 (1970, 1996) が新旧2つの版で褶曲軸の項目を執筆しているが、両方とも定義Cである。筆者の学生時代に『地質構造の解析』は広く読まれた教科書だったが、そこでは定義Aをしめした後、「ただし、ヒンジ線や、後述するように冠跡・底跡も一般に褶曲軸とよばれる」とあって、混乱状態にあることを書いている (垣見, 1978; 垣見・加藤, 1994)。佐藤 (2003) も似た記述である。フィールドジオロジーシリーズの『構造地質学』は定義Cを (天野・狩野, 2009)、狩野・村田 (1998) と金川 (2011) は定義Aを採用している。

高校の教科書『地学』ではどうか。数研出版のほうは定義Cである (小川ほか, 2014)。啓林館のほうでは (磯崎・江里口, 2013, p. 131)、褶曲の絵に褶曲軸という語は記入されているが、文章による説明がないために、どの定義を採用しているか不明瞭である。どちらの教科書で学んだにせよ、教えられた言葉の定義の混乱を知らずに、毎年多くの高校生が卒業してゆくわけである。

それなら、褶曲軸をしめすと思っていた、地質図のあの線 (Fig. 1b) は何だったのだろうと、疑問に思う読者もおられるだろう。ほとんどの場合、それは冠線または底線である。そもそも定義Aの褶曲軸は褶曲の特定部位ではないから、位置を地図上に示すことはできない。上の疑問に答えるため次に、褶曲軸面および定義Aの褶曲軸を地表調査で決定することの難しさ

を説明し、地質図に描くには冠線と底線が実用的事であること述べる。

地表調査でも、冠線・底線を認定するのは容易である。たとえば南北トレンドの背斜なら、地層の傾斜が東向きの領域と西向きの領域を分ける線が冠線である。底線も同様に、地層の傾斜方向の分割線である。したがって、地層の傾斜方向をみてゆくだけでこれらの線を地図上に描くことができる。

ところが定義Aの褶曲軸となると、いくつもの露頭で地層の姿勢を測定し、ステレオネットを使って褶曲軸の方向を推定する必要がある (e.g. Twiss and Moores, 2007, pp. 278-279)。これは統計的な作業なので、走向傾斜のデータが多いことが肝要であり、地層が塊状であったり露出の悪い地域であったりすると十分なデータが得られず、褶曲軸の方向がはっきりしないことがある。

地質調査所をふくむ米国政府機関の刊行物には、次のガイドラインがある。すなわちFig. 1bの背斜と向斜の線は、なるべく褶曲軸面と地表面との交線にそって描くべきもので、もし冠線や底線にそって描くなら、凡例にその旨明記せよと (Federal Geographic Data Committee, 2006)。しかし、褶曲軸面を認定するには、地層のなす曲面を三次元的に精確に把握し、曲率が最大となるヒンジ点を複数地点・複数層準で発見する必要がある。地表調査でそれを実行するのは容易ではない。それゆえ、冠線や底線にそって描くことを許すわけである。ただし、ヒンジ線のプランジが大きければ、地図上で地層のトレンドが急変するヒンジ部を発見するのは困難ではなく、このガイドラインにしたがうこともできるだろう。

背斜と向斜の位置とトレンドをしめすために、地質学雑誌に収録されたものを含め、日本で出版されているほとんどの地質図で、冠線・底線が描かれている。たとえば尾花沢西方の富並背斜のような箱形褶曲では、背斜の両肩にヒンジ線があるが、「背斜軸」として地質図に描かれた線は、冠線にそっている (徳永, 1958)。近年も継続的に出版されている新潟褶曲帯の5万分の1地質図幅をみると、少なくとも凡例では2000年頃まで定義Bで、Fig. 1bの記号を背斜軸と向斜軸と書いていたことがわかる。近年出版された地質図の凡例では、背斜と向斜になっている。

わが国では褶曲軸という言葉の用法がまだまだ不統一であるうえ、欧米で少なくなっている定義Bと定義Cでの用例が大多数を占め、しかも混乱自体を知る人が少ない。そのため人が褶曲軸と言うとき、その人がどの定義にそって言っているのか、即座には分からなくて困る。「あなたの言う褶曲軸とは何ですか」と問うことになるわけである。

## 結語

褶曲の冠線と底線という言葉が普及し、遠からずこの混乱が終息することを筆者は望む。褶曲軸より冠線・底線のほうが概念として単純であり、実用的でもある。また、日本の地質学のガラパゴス化防止のため、海外同様、定義Aが広まることを望む。

高校生は褶曲軸など知らなくてよい。高校で教えるべきは、褶曲軸より冠線と底線であると思う。しかしそれらは、音読みすると同音異義語が複数あって、聞きとりにくい訳語である。訓読みしたソコセンは、走向線と紛らわしい。片仮名書きでクレスト線とトラフ線とするのがよいかも知れない。しかしそれらより優先して教えるべきは、地層の上下判定ともからむ、背斜・向斜とアンチフォーム・シンフォームとの違いであるとも思う。

## 文献

Allaby, M. (ed.), 2013, A Dictionary of Geology and Earth Sciences. Oxford University Press, 660p.  
天野一男・狩野謙一 (Amano, K. and Kano, K.), 2009, 構造地

- 質学 (Structural Geology). 共立出版 (Kyoritsu Shuppan), 177p.
- American Geological Institute, ed., 1957, Glossary of Geology and Related Sciences. Amer. Geol. Inst., Wasington, D.C., 325p.
- American Geological Institute, ed., 1960, Glossary of Geology and Related Sciences, 2nd Ed. Amer. Geol. Inst., Wasington, D.C., 325p.
- Bates, R.L. and Jackson, J.A., eds., 1982, Glossary of Geology, 2nd Ed. Amer. Geol. Inst., Falls Church, 751p.
- Bates, R.L. and Jackson, J.A., eds., 1987, Glossary of Geology, 3rd Ed. Amer. Geol. Inst., Alexandria, 788p.
- Bennison, G.M., Olver, P.A. and Moseley, K.A., 2013, An Introduction to Geological Structures and Maps, 8th Ed. Routledge, London, 168p.
- Billings, M.P., 1942, Structural Geology. Prentice-Hall, New York, 473p.
- Busk, H.G., 1929, Earth Flexures. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 106p.
- Donath, F.A. and Parker, R.B., 1964, Folds and folding. Bull. Geol. Soc. Amer., 75, 45-62.
- Federal Geographic Data Committee, 2006, FGDC Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization. Federal Geographic Data Committee, FGDC-STD-013-2006, 290p.
- Fossen, H., 2010, Structural Geology. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 463p.
- Fossen, H., 2016, Structural Geology, 2nd Ed. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 510p.
- Geikie, A., 1988, Text-Book of Geology. Macmillan, London, 971p.
- Geikie, J., 1905, Structural and Field Geology: for Students of Pure and Applied Science. Oliver & Boyd, London, 454p.
- Gray, M., McAfee, R., Jr. and Wolf, C.L. (eds.), 1972, Glossary of Geology. Amer. Geol. Inst., Wasington, D.C., 857p.
- Hatcher, R.D., Jr., 1990, Structural Geology: Principles, Concepts, and Problems. Merrill Publ., Columbus, 531p.
- 磯崎行雄・江里口良治 (編) (Isozaki, Y. and Eriguchi, Y., eds.), 2013, 地学 (Earth Science). 啓林館 (Keirinkan), 415p.
- 伊藤谷生 (Ito, T.), 1979, 「多面体状褶曲」, その幾何学的形態と変形様式: 秋田県二ツ井付近七座背斜を例として ("Polyhedral fold," its geometrical shape and deformation type-in case of the Nanakura anticline, Akita Prefecture, Northeast Japan). 地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan), 85, 67-79.
- Jackson, J.A., ed., 1997, Glossary of Geology, 4th Ed. Amer. Geol. Inst., Alexandria, 769p.
- 垣見俊弘 (Kakimi, T.), 1978, 地質構造の解析 (Analyses of Geologic Structures). 地 団 研 (Assoc. Geol. Collab. Japan), 240p.
- 垣見俊弘・加藤碩一 (Kakimi, T. and Kato, H.), 1994, 地質構造の解析: 理論と実際 (Analyses of Geologic Structures: Theories and Practices). 愛智出版 (Aichi Shuppan), 274p.
- 金川久一 (Kanagawa, K.), 2011, 構造地質学 (Structural Geology). 共立出版 (Kyoritsu Shuppan), 253p.
- 狩野謙一・村田明広 (Kano, K. and Murata, A.), 1998, 構造地質学 (Structural Geology). 朝倉書店 (Asakura Publ.), 298p.
- Leith, C.K., 1913, Structural Geology. Henry Holt, New York, 169p.
- McIntyre, D.B., 1950, Note on two lineated tectonites from Strathavon, Banffshire. Geol. Mag., 87, 331-336.
- Neuendorf, K.K.E., Mehl, J.P., Jr. and Jackson, J.A., 2005, Glossary of Geology, 5th Ed. Am. Geol. Inst., Alexandria, 779p.
- Nevin, C.M., 1931, Principles of Structural Geology. Wiley, New York, 303p.
- 小川勇二郎・浅野俊雄・家 正則・磯村恭朗・高橋正樹・武田康男・田中浩紀・中野孝教・中村 尚・林 美幸・平野弘道・丸山茂徳・八木勇治・吉田二美 (Ogawa, Y., Asano, T., Iye, M., Isomura, Y., Takahashi, M., Takeda, Y., Tanaka, H., Nakano, T., Nakamura, H., Hayashi, M., Hirano, H., Maruyama, S., Yagi, Y. and Yoshida, F.), 2014, 地学 (Earth & Universe). 数研出版 (Suken Shuppan), 383p.
- Park, R.G., 1983, Foundations of Structural Geology. Blackie, Glasgow, 135p.
- Park, R.G., 1997, Foundations of Structural Geology, 2nd Ed. Blackie, Glasgow, 148p.
- Park, R.G., 2000, Foundations of Structural Geology, 3rd Ed. Stanley Thornes, Cheltenham, 202p.
- Ramsay, J.G., 1967, Folding and Fracturing of Rocks. McGraw-Hill, New York, 568p.
- Roberts, J.L., 1982, Introduction to Geological Maps and Structures. Pergamon Press, Oxford, 332p.
- 佐藤 正 (Sato, T.), 2003, 地質・土木技術者のための地質構造 解析20講 (Twenty Lectures on Structural Analyses for Geologists and Civil Engineers). 近未来社 (Kinmiraiisha Co.), 398p.
- Stočas, B. and White, C.H., 1935, Structural Geology. Macmillan, London, 460p.
- Suppe, J., 1985, Principles of Structural Geology. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 537p.
- 徳永重元 (Tokunaga, S.), 1958, 尾花沢 (Obanazawa). 5万分の1地質図幅, 地質調査所 (Geol. Surv. Japan), 32p.
- Twiss, R.J. and Moores, E.M., 2007, Structural Geology, 2nd Ed. W.H. Freeman, New York, 736p.
- 植村 武 (Uemura, T.), 1970, 褶曲軸 (Fold axis). 地団研地学事典編集委員会編 (Editing Committee of the Encyclopedia of Earth Sciences, the Association for the Geological Collaboration in Japan, ed.), 地学事典 (Encyclopedia of Earth Sciences), 平凡社 (Heibonsha), 482.
- 植村 武 (Uemura, T.), 1996, 褶曲軸 (Fold axis). 地団研地学事典編集委員会編 (Editing Committee of the Encyclopedia of Earth Sciences, the Association for the Geological Collaboration in Japan, ed.), 新版地学事典 (Encyclopedia of Earth Sciences, New Edition), 平凡社 (Heibonsha), 572.
- Wegmann, C.E., 1929, Beispiele tektonischer Analysen des Grundgebirges in Finland. Bull. Comm. Geol. Finlande, 87, 98-127.
- Willis, B., 1923, Geologic Structures. McGraw-Hill, New York, 295p.
- Willis, B. and Willis, R., 1934, Geologic Structures, 3rd Ed. McGraw-Hill, New York, 544p.
- [URL1] <http://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/62176#/summary>
- [URL2] <http://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/62186#/summary>