

「3 次元有限歪解析—沖縄島国頭層群嘉陽層について— 林, 1988」における誤りとその訂正

林 大五郎*

Correction of errors in “Three dimensional finite strain analysis—with reference to
Kayo Formation, Kunchan Group, Okinawa-jima—HAYASHI, 1988”

Daigoro HAYASHI*

Abstract There are errors with regard to the analytical method and the calculation of the symmetric index in the paper “Three dimensional finite strain analysis—with reference to Kayo Formation, Kunchan Group, Okinawa-jima—” (HAYASHI, 1988; hereafter the original paper). The results of the analysis by the corrected method shows preferred orientation of the longest axis of the three dimensional strain whereas the method reported in the original paper does not. There are no other significant differences between the results or the two methods.

はじめに

「3 次元有限歪解析—沖縄島^{くんちやん}国頭^{かよう}層群嘉陽層について—」(林, 1988: 以下原論文と呼ぶ)の解析方法について誤りがあったため訂正する。

誤りは、互いに平行でない 3 面の 2 次元有限歪を組み合わせて 3 次元有限歪を求める部分にある。RAMSAY (1967)の示した方法は 2 次元歪が絶対値で求められている場合には有効であるが、歪の長軸(X 軸)と短軸(Y 軸)との比として求められる場合には使えない。原論文では 2 次元歪を長軸と短軸との比として求めているため、得られた 3 次元歪は誤っている。

解析方法

先に述べたように 2 次元歪が長軸と短軸の比として求められている場合には、これらを組み合わせて 3 次元歪を計算することはできない。2 次元歪から 3 次元歪を組み立てることができるのは次の場合である。(1) 互いに平行でない 3 面上での 2 次元歪が絶対値で得られている場合。(2) 互いに直交する 3 面上での 2 次元

歪が得られている場合、この場合には長軸と短軸の比として得られていても良い。

原論文でのように歪マーカーとして石英粒を用いた場合には 2 次元歪を絶対値で得ることはできない。したがって、(2)の方法を用いて 3 次元歪を求めねばならない。以下にこの方法を述べる。

(1) 定方位サンプルから互いに直交する 3 面をコーナーで切り出し、面 A, B, C とし、これらをシュミットネットに大円として描く。

(2) これら 3 面の交点を x, y, z 軸として正の直交座標系 xyz をとる。例えば、B 面と C 面との交点を z 軸とし、 x 軸と y 軸は座標系 xyz が正系となるようにとる。このようにとると、A 面はつねに xy 面であり、B 面と C 面は yz 面か zx 面となる。どちらがどの面になるかは A, B, C 面の相対的位置によって決まる。

(3) 原論文(p.760)の(8)から(11)までに同じ。

原論文の第 5 表に示されている A, B, C 面の方位から上記(2)の方法で xyz 座標系を決め、 x 軸と y 軸の間の角($x'y$)、 y 軸と z 軸の間の角($y'z$)、 z 軸と x 軸の間の角($z'x$)を求め、これを第 1* 表に示す。この表から、原論文で用いたサンプルからはほぼ直交する 3 面が切り出されていることが分かる。A 面はすべてのサンプルについてつねに xy 面であり、サンプル 1, 2,

1989 年 4 月 12 日受付, 1989 年 5 月 29 日受理。

* 琉球大学理学部海洋学教室, Department of Marine Sciences, Ryukyu University, Nishihara, Okinawa, 903-01 Japan.

第1*表. x, y, z 軸の間の角(度).
 $x^{\wedge}y$: x 軸と y 軸との間の角. $y^{\wedge}z$: y 軸
 と z 軸との間の角. $z^{\wedge}x$: z 軸と x 軸
 との間の角.

標本 番号	$x^{\wedge}y$	$y^{\wedge}z$	$z^{\wedge}x$
1	84.8	88.5	88.8
2	92.0	88.5	93.0
3	89.8	83.3	92.7
4	93.4	88.7	84.3
5	91.6	81.2	87.0
6	90.2	92.1	82.4
7	95.5	86.5	94.2
8	89.8	92.3	94.5
9	93.0	90.1	87.5
10	90.1	86.1	89.7
12	90.8	89.3	83.2
14	88.3	90.6	92.5
16	94.8	86.6	87.5
18	91.9	87.8	92.4
19	88.4	84.3	90.9
20	86.4	78.5	84.5

3, 4, 6, 9, 10, 16, 18 については yz 面が C 面となり, サンプル 5, 7, 8, 12, 14, 19, 20 については yz 面が B 面となる.

このように A, B, C 面と新たに設定した xy, yz, zx 面とを対応させて, 原論文で解析した 16 個のサンプルについて再計算を行った. 図表には参照しやすいように

原論文とおなじ番号を振り, 原論文にない図表には第 1* 図のように番号の後に * をつけた.

2次元歪解析

この解析結果は原論文の第 6 表に示されたものと同じであるが, A, B, C 面について示すよりも xy, yz, zx 面について記した方が理解しやすいため, ここで第 6 表として掲げた.

3次元歪解析

再計算の結果を第 7 表に, 主歪軸方位の地理的分布と XZ 楕円を第 3 図に, Flinn 図を第 6 図に, 主歪軸方位のシュミットネットへの投影を第 7 図に, それぞれ示した.

(1)第 3 図から X 軸が地層の走向方向に伸びる傾向が認められる.

(2)第 6 図から prolate タイプは 9 個, oblate タイプは 7 個であり, どちらかのタイプに卓越するということはない.

(3)第 7 図から X 軸と Y 軸は水平に近く分布する, 特に X 軸にこの傾向が強い. Z 軸は垂直に近く分布する.

断面での 2次元歪

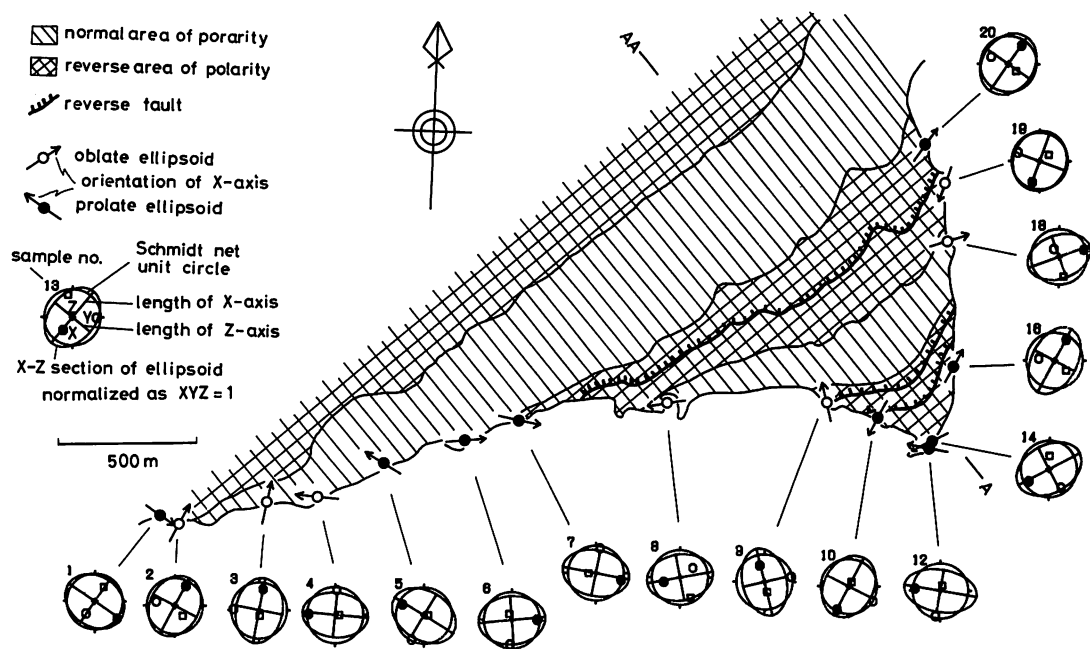
第 8 表と第 8 図に A-AA 断面(第 3 図に示されている)での 2次元歪を示す. 第 8 図から X 軸は水平な

第 6 表. 2次元歪解析結果.

標本 番号	x y 面				y z 面				z x 面			
	X	Y	R	Φ (deg)	X	Y	R	Φ (deg)	X	Y	R	Φ (deg)
1	1.10	0.91	1.21	11.90	1.05	0.96	1.09	-17.37	1.04	0.96	1.09	-32.41
2	1.08	0.93	1.17	39.17	1.04	0.96	1.08	34.25	1.13	0.89	1.27	- 3.25
3	1.15	0.87	1.31	13.72	1.14	0.88	1.31	8.16	1.07	0.94	1.14	28.44
4	1.24	0.81	1.54	10.83	1.02	0.98	1.04	-55.82	1.14	0.87	1.31	1.57
5	1.09	0.91	1.20	2.06	1.10	0.91	1.22	0.58	1.14	0.88	1.30	-72.34
6	1.05	0.95	1.11	43.24	1.19	0.84	1.42	-15.55	1.13	0.88	1.29	- 0.66
7	1.13	0.89	1.27	- 6.24	1.12	0.90	1.24	38.36	1.11	0.90	1.24	- 5.94
8	1.14	0.88	1.31	49.03	1.12	0.89	1.26	65.87	1.12	0.89	1.26	-50.77
9	1.20	0.83	1.44	5.25	1.13	0.88	1.28	68.78	1.21	0.83	1.45	31.31
10	1.16	0.86	1.35	-10.32	1.05	0.95	1.10	-48.88	1.16	0.86	1.36	-10.11
12	1.19	0.84	1.42	-40.97	1.16	0.86	1.34	- 9.08	1.25	0.80	1.56	- 4.48
14	1.18	0.85	1.39	-20.07	1.16	0.87	1.34	-34.93	1.08	0.92	1.17	-40.06
16	1.11	0.90	1.22	48.19	1.24	0.81	1.54	2.09	1.12	0.89	1.26	-11.19
18	1.21	0.83	1.45	61.17	1.01	0.99	1.03	-19.10	1.21	0.83	1.46	12.85
19	1.06	0.94	1.13	-38.75	1.01	0.99	1.02	-29.65	1.04	0.96	1.08	-17.17
20	1.05	0.95	1.10	17.65	1.09	0.92	1.19	30.63	1.08	0.92	1.17	-15.61

第7表. 3次元歪解析結果.

標本 番号	X	Y	Z	Rxy	Ryz	k	d	E12	E23	K	D	Es	v
1	1.118	0.993	0.901	1.126	1.103	1.231	0.163	0.119	0.098	1.218	0.154	0.153	-0.098
2	1.116	1.025	0.875	1.089	1.171	0.518	0.193	0.085	0.158	0.537	0.179	0.174	0.301
3	1.164	1.028	0.836	1.133	1.229	0.579	0.265	0.125	0.206	0.604	0.241	0.236	0.247
4	1.165	1.082	0.794	1.077	1.363	0.213	0.371	0.074	0.309	0.240	0.318	0.288	0.613
5	1.218	0.945	0.869	1.288	1.088	3.274	0.301	0.253	0.084	3.002	0.267	0.248	-0.500
6	1.189	0.982	0.857	1.212	1.146	1.452	0.257	0.192	0.136	1.411	0.236	0.233	-0.170
7	1.204	0.993	0.836	1.213	1.187	1.138	0.283	0.193	0.171	1.126	0.258	0.258	-0.059
8	1.178	1.012	0.839	1.164	1.206	0.794	0.263	0.152	0.187	0.809	0.241	0.240	0.105
9	1.231	1.043	0.779	1.180	1.340	0.530	0.384	0.165	0.282	0.566	0.336	0.328	0.277
10	1.167	0.969	0.885	1.204	1.095	2.137	0.225	0.185	0.091	2.037	0.207	0.199	-0.341
12	1.317	0.985	0.763	1.323	1.305	1.058	0.444	0.280	0.286	1.051	0.386	0.386	-0.025
14	1.224	0.957	0.854	1.279	1.121	2.297	0.304	0.246	0.114	2.147	0.271	0.260	-0.364
16	1.270	0.978	0.805	1.298	1.215	1.386	0.367	0.261	0.195	1.339	0.326	0.323	-0.145
18	1.150	1.117	0.779	1.030	1.435	0.068	0.436	0.029	0.361	0.081	0.362	0.307	0.851
19	1.061	1.003	0.940	1.058	1.066	0.870	0.088	0.056	0.064	0.874	0.085	0.085	0.067
20	1.159	0.940	0.918	1.233	1.023	9.982	0.234	0.209	0.023	9.078	0.210	0.181	-0.802



第3図. 3次元主歪方位の地理的分布. 歪楕円体の主軸をシュミットネットへ下半球投影した図を構造図上に描いてある.

し層理面に平行に伸びる傾向がある.

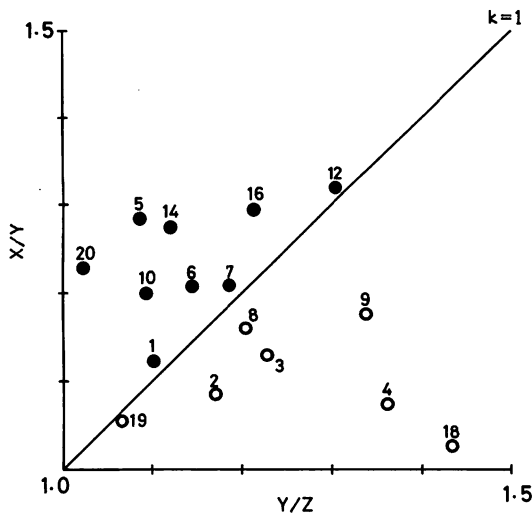
対称性指数についての誤り

解析方法上の誤りではなく, 計算プログラムのコーディングの誤りから原論文に載せられた対称性指数は正しくない. 第9表に正しい値を示す. サンプル19の xy 面やサンプル20の zx 面での値のように0.5のオーダーのものもあるが, 大多数のサンプルの対称性指数は0.75を越えている. LISLE(1985)によると, 歪の長軸と短軸の比が1.5でサンプル数が60個の場合, 対称

性指数が0.60以上ならば歪マーカは変形前に特定の方向に向いてはいなかったと言える. またサンプル数が100個の場合には対称性指数が0.74以上のとき同様のことが言える. したがって, この解析に用いた歪マーカは初期フォリエーションを有していなかったと言えるであろう.

プログラムの検定

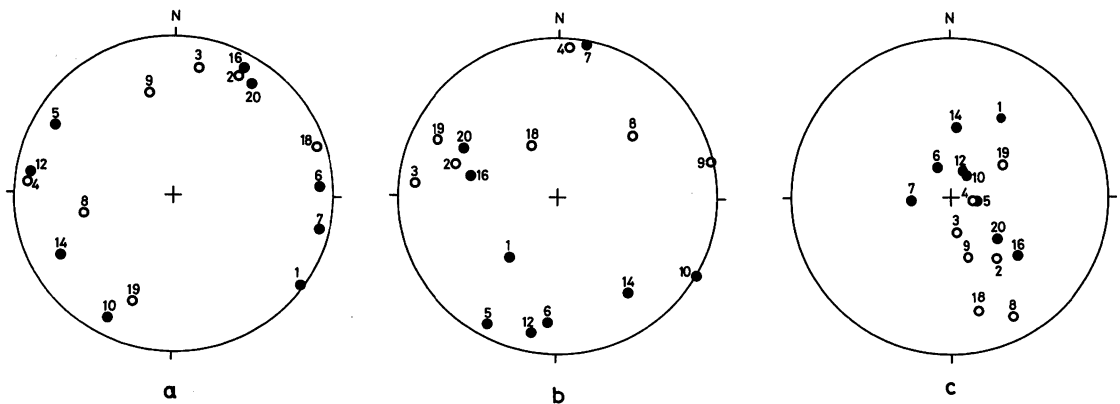
検定は, ある楕円体を歪楕円体と仮定し, 直交する3面で切る. この3面上での楕円(楕円体の断面)を2次



第6図. Flinn 図. 白丸: oblate タイプ, 黒丸: prolate タイプ.

第8表. A-AA 断面上の2次元主歪.

標本番号	X	Y	R	Φ (deg)
1	1.070	0.935	1.144	0.0
2	1.103	0.907	1.216	39.7
3	1.136	0.880	1.291	1.2
4	1.179	0.848	1.391	8.0
5	1.116	0.896	1.246	8.3
6	1.166	0.857	1.361	-30.1
7	1.025	0.976	1.050	12.8
8	1.169	0.855	1.367	67.8
9	1.173	0.853	1.375	31.0
10	1.053	0.949	1.109	-4.4
12	1.184	0.845	1.401	7.1
14	1.030	0.971	1.060	-57.0
16	1.097	0.912	1.204	45.2
18	1.195	0.837	1.429	58.7
19	1.021	0.980	1.042	-22.1
20	1.063	0.941	1.129	19.4



第7図. 主歪軸方位のシュミットネット下半球投影図. 白丸: oblate タイプ, 黒丸: prolate タイプ. a: 主伸び歪軸(X 軸)について, b: 主中間歪軸(Y 軸)について, c: 主縮み歪軸(Z 軸)について.

元の歪楕円と見なして入力データを作成する. プログラムを実行し得られた3次元歪楕円体が元の仮定した楕円体と一致するかどうか, を見る.

xyz 座標系は, x 軸を水平で南向き, y 軸を水平で東向き, z 軸を垂直で上向きとする.

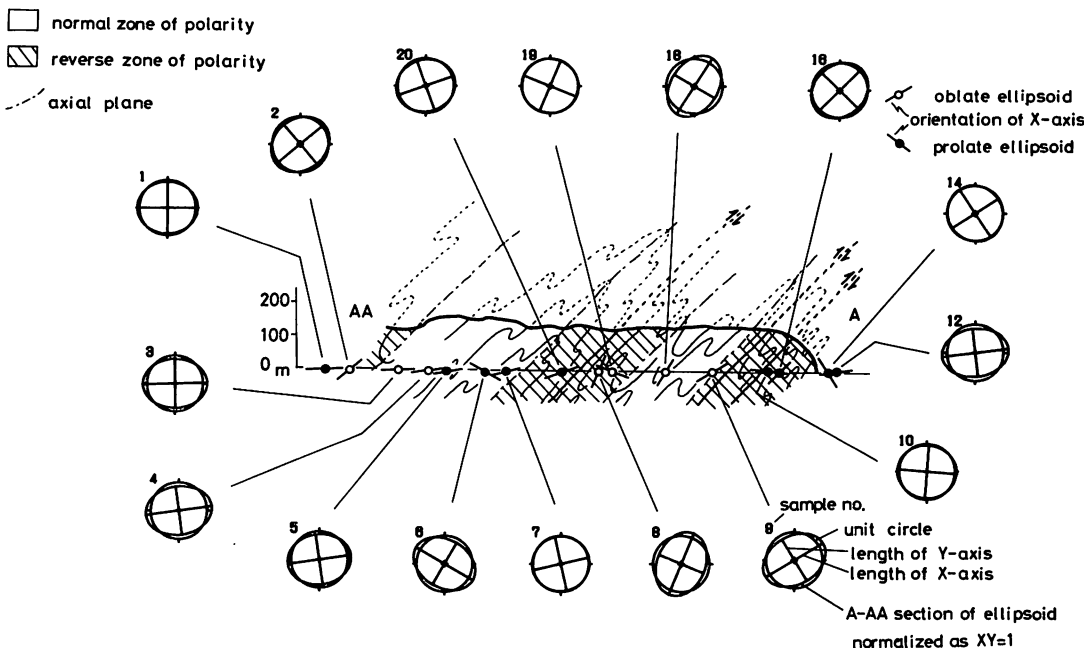
x, y, z 軸での軸比が 4:2:1 の楕円体を歪楕円体と仮定する. この楕円体の式は,

$$(x \ y \ z) \begin{bmatrix} 0.0625 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0 \\ 0 & 0 & 1.0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = 1$$

である.

xy 面(ポールのオイラー角: $121^\circ, 71^\circ, 143^\circ$), yz 面($49^\circ, 42^\circ, 97^\circ$), zx 面($57^\circ, 126^\circ, 126^\circ$)の3面でこの楕円体を切断すると第1*図に示すような楕円となる.

xy 面での主相反2次の伸びは 0.627 と 1.594, 北よりの走向からの楕円の長軸の方向は 8° . yz 面での主相反2次の伸びは 0.382 と 2.615, 長軸の方向は -36° . zx 面での主相反2次の伸びは 0.448 と 2.232, 長軸の方向は -80° . これらから計算された歪楕円体を第2*図に示す. 軸長は, $X=1.951, Y=1.019, Z=$

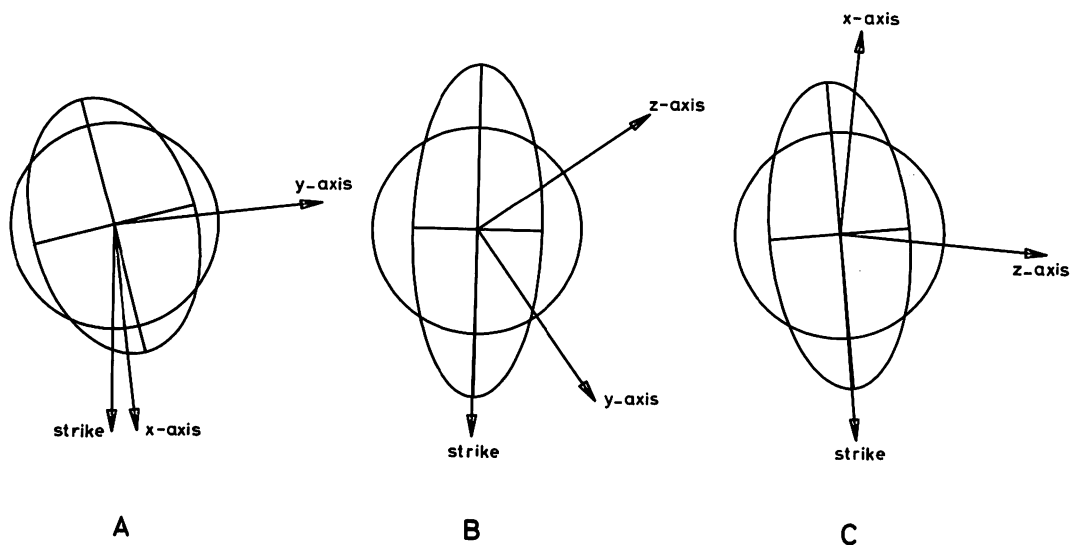


第 8 図. A-AA 断面(自然尺)上での 2 次元主歪方位の分布. 単位円と歪楕円の長・短軸が描かれている. 斜線部は逆転部分. 太線は地形断面を表す.

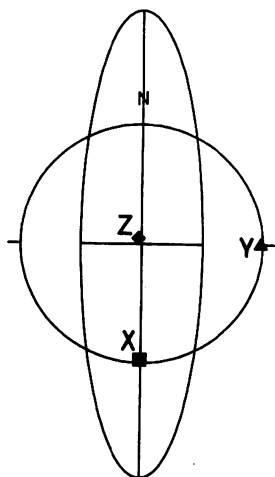
第 9 表. 対称性指数. Φ は測定面の走向から測った X 軸の角度. Φ の値が SHIMAMOTO and IKEDA 法のものより 10° 以上違っているサンプルには Φ の値の後に * をつけた.

標本 番号	x y 面			y z 面			z x 面		
	標本数	I sym	Φ (deg)	標本数	I sym	Φ (deg)	標本数	I sym	Φ (deg)
1	45	0.756	63.0	69	0.783	-71.8	57	0.842	44.2
2	86	0.698	16.0	76	0.711	-69.4*	86	0.953	5.7
3	50	0.880	18.0	75	0.933	-88.4	78	0.846	-68.2
4	84	0.905	-2.7	60	0.900	-17.4	93	0.946	-87.1
5	87	0.989	74.6	108	0.741	-72.7	75	0.907	61.4
6	81	0.790	66.1*	53	0.868	12.1	102	0.863	0.7
7	80	0.775	90.0	77	0.805	-73.3	64	0.844	3.6
8	80	0.925	84.3	53	0.906	-72.7	38	0.684	-84.8
9	78	0.795	-12.1	54	0.889	70.8	86	0.674	-14.0
10	95	0.947	81.4	67	0.896	-54.9	97	0.804	-73.4
12	90	0.889	-22.9	86	0.837	67.8	70	0.829	-2.0
14	116	0.810	83.6	134	0.925	80.5	88	0.932	76.1
16	79	0.987	22.2	69	0.957	75.3	83	0.916	-74.8
18	110	0.945	-83.1	72	0.972	-52.0*	116	0.724	76.2
19	50	0.520	-29.0*	76	0.974	-66.2*	76	0.868	68.5
20	47	0.894	-66.1	65	0.923	77.6	50	0.560	0.4

0.502 となっており, 仮定した楕円体を良く再現して
いる.



第1*図. 楕円体の断面を投影の中心から見た図. Strike は投影面の北よりの走向. A: xy 面, B: yz 面, C: zx 面.



第2*図. 直交する3面から再構成された歪楕円体.

文 献

- 林大五郎, 1988: 3次元有限歪解析—沖縄島国頭層群嘉陽層について—. 地質雑, 94, 757-768.
 LSLE, R. J., 1985: *Geological strain analysis, A manual for the Rf/θ technique*. 99 p., Pergamon Press.
 RAMSAY, J. G., 1967: *Folding and fracturing of rocks*, 568 p., McGraw Hill.

(要 旨)

林大五郎, 1989: 「3次元有限歪解析—沖縄島国頭層群嘉陽層について—林, 1988」における誤りとその訂正. 地質雑, 95, 553-558. (HAYASHI, D., 1989: Correction of errors in "Three dimensional finite strain analysis—with reference to Kayo Formation, Kunchan Group, Okinawa—jima—HAYASHI, 1988". *Jour. Geol. Soc. Japan*, 95, 553-558)

「3次元有限歪解析—沖縄島国頭層群嘉陽層について—」(林, 1988; 以下原論文と呼ぶ)の解析方法および対称性指数の計算において誤りがある. 原論文の解析結果と今回の結果とで異なるのは, 3次元歪の長軸(X軸)が方向性を有していると思われることである. その他の結果には大きな違いは認められない.