

日本の砂岩の化学組成

片田正人*・寺岡易司**

(1980年9月3日受理)

1 はじめに

筆者たちの堆積岩・変成岩研究の一環として、今までに化学分析された砂岩は60個以上におよんでいる。それら分析値のうち過半数は、別の報文で図や議論には利用したけれども、分析値そのものは公表していなかった。そこでこの報文では、それら全部の値に、学術雑誌に公表されている他の著者の一般的砂岩の分析値を加え、あらためて日本の砂岩の分析値を集録し、その化学的特性を議論したい。

特殊なものをのぞく砂岩の分析値は、古生層から新第三紀層までのものを網羅しても、数はそれほど多くない。その理由は、変成・変質作用における砂岩中の再結晶鉱物の種類が、泥岩や緑色岩の場合に比較して少なく、変成・変質作用研究の副産物としての分析資料が非常に乏しいからである。

なおこれから記述する地質区などの区分に関しては、小野(1976)、片田・小野(1978)を参照されたい。

謝辞：ここで報告する分析値の大半、すなわち第1表の no. 16, 57, 72—76を除外したすべては、地質調査所化学課大森えい・大森貞子両技官の分析によるものである。同表 no. 4, 5は、同所中国出張所東元定雄技官、no. 56は地質部吉田尚技官の提供試料を分析したものである。また同所物理探査部丹治耕吉技官・元地質部横内千恵子技官からは、計算機の利用に関して御援助をいただいた。稿を脱するに際し、以上の方々に深い謝意を表する。

2 分析値

日本の砂岩の分析値を第1表に、試料採取地点を第1図に示す。

3 考察

3.1 CaO-Na₂O-K₂O 三角図

砂岩の化学組成は、含まれる斜長石・アルカリ長石(カリウム長石および曹長石)の容量比と、それらの組成によって大きく左右される。ここで問題にする砂岩の場合、長石のほとんどすべては砂屑性のものである。したがって長石の性質は、供給源岩の性質を直接反映している。そこで砂岩中の長石の性質を、CaO-Na₂O-K₂O 三角図などを利用して検討してみよう。

砂岩中の CaO の大半は斜長石と炭酸塩鉱物に含まれる。鏡下の観察によると、炭酸塩鉱物

* 岩手大学教育学部

** 通商産業省地質調査所

第1表

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	72.62	74.40	69.60	72.40
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	0.34	0.26	0.31	0.50
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	10.54	9.75	11.31	11.32
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	1.05	0.78	0.76	0.91
FeO	-	-	-	-	-	-	-	-	1.51	1.17	1.11	2.62
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	0.07	0.01	0.04	0.03
MgO	0.85	0.49	0.79	1.03	0.90	0.63	0.64	0.87	1.38	1.13	1.22	1.94
CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	2.66	2.56	4.23	1.57
Na ₂ O	3.38	3.43	3.05	2.26	3.70	3.42	3.32	3.16	2.44	2.63	2.96	1.83
K ₂ O	2.62	1.80	2.14	2.23	1.59	2.67	2.64	2.86	2.92	3.01	2.66	3.16
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	0.18	0.10	0.13	0.11
H ₂ O+	-	-	-	-	-	-	-	-	1.26	1.02	1.39	2.00
H ₂ O-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.40	0.20	0.19	0.03
CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	2.13	-	3.49	1.29
C	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	-	0.13	0.40
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ig. L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Others	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	99.64	97.02	99.52	100.11

No.	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SiO ₂	77.74	75.72	72.26	75.32	43.86	58.88	61.64	54.88	63.49	53.66	62.32	61.20
TiO ₂	0.18	0.43	0.43	0.30	1.01	0.94	0.42	0.73	0.65	0.92	0.77	0.68
Al ₂ O ₃	7.29	10.22	11.00	11.19	12.57	16.08	17.42	13.54	13.72	18.24	14.18	16.92
Fe ₂ O ₃	0.89	0.82	0.73	1.07	0.91	1.28	1.30	0.44	1.94	1.82	1.89	0.95
FeO	0.66	1.75	1.62	2.98	4.17	7.71	3.53	3.70	4.37	6.42	4.20	6.25
MnO	0.06	0.04	0.04	0.03	0.60	0.13	0.05	0.12	0.11	0.06	0.07	0.05
MgO	0.72	1.14	1.46	1.80	1.53	4.06	1.97	1.50	2.63	4.39	3.02	2.93
CaO	4.17	1.69	2.99	1.31	15.42	1.59	3.15	10.38	3.29	2.42	3.01	1.49
Na ₂ O	1.56	2.06	2.41	3.70	2.89	3.38	4.57	3.75	4.35	3.93	4.22	3.26
K ₂ O	2.14	2.96	2.98	1.73	1.05	0.82	1.38	0.87	1.03	0.92	0.98	0.99
P ₂ O ₅	0.07	0.11	0.14	0.10	0.22	0.14	0.13	0.15	0.10	0.07	0.08	0.07
H ₂ O+	0.73	0.95	1.28	0.20	2.57	4.39	2.58	2.23	2.45	4.88	3.25	3.72
H ₂ O-	0.01	0.02	0.02	0.37	0.30	0.36	0.56	0.24	0.54	0.68	0.32	0.42
CO ₂	3.28	1.88	2.41	-	11.68	0.22	1.05	6.84	1.14	1.46	2.07	0.93
C	0.26	0.15	0.13	-	0.21	0.00	0.00	0.27	0.00	0.13	0.15	0.03
S	-	-	-	-	0.33	-	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00
Ig. L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Others	-	-	-	-	0.29	-	-	-	-	-	-	-
Total	99.76	99.94	99.90	100.80	99.61	99.98	99.75	99.64	99.81	100.00	99.82	99.89

No.	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
SiO ₂	57.76	44.74	59.42	52.53	57.85	73.23	68.83	72.56	74.68	75.56	63.49	50.87	-
TiO ₂	0.77	0.90	0.79	0.89	0.88	0.41	0.46	0.35	0.23	0.34	0.52	0.53	-
Al ₂ O ₃	15.30	13.13	15.72	18.57	15.17	13.08	15.32	12.39	13.10	11.53	13.17	12.21	-
Fe ₂ O ₃	1.06	1.38	1.28	0.82	1.48	0.55	0.85	0.48	0.39	0.39	1.10	1.96	-
FeO	5.73	7.07	6.27	6.89	6.51	1.53	2.50	1.97	1.90	2.48	3.36	2.10	-
MnO	0.12	0.22	0.24	0.10	0.14	0.05	0.07	0.06	0.04	0.06	0.09	0.09	-
MgO	4.02	2.00	3.57	5.04	3.63	0.86	1.33	0.80	0.66	0.70	1.75	1.97	1.74
CaO	3.63	12.86	2.46	3.90	6.48	1.53	1.26	2.89	1.05	1.28	4.92	13.36	-
Na ₂ O	5.21	4.00	4.78	5.54	3.54	4.24	5.59	3.88	4.69	4.13	3.33	3.04	3.90
K ₂ O	0.80	0.48	0.69	0.08	0.84	1.63	1.24	2.07	1.51	1.04	1.84	1.47	2.12
P ₂ O ₅	0.11	0.18	0.12	0.16	0.10	0.04	0.04	0.04	0.05	0.07	0.15	0.07	-
H ₂ O+	3.34	3.18	3.47	3.96	3.31	1.54	1.80	0.79	-	-	-	2.58	-
H ₂ O-	0.24	0.24	0.24	0.23	0.13	0.09	0.07	0.01	-	-	-	0.75	-
CO ₂	2.05	9.77	1.31	1.30	0.14	0.20	0.17	1.22	-	-	-	9.27	-
C	0.06	0.16	0.05	0.01	0.04	-	0.06	-	-	-	-	-	-
S	-	-	-	-	-	0.31	-	-	-	-	-	-	-
Ig. L.	-	-	-	-	-	-	-	-	1.29	1.95	5.92	-	-
Others	-	-	-	-	-	0.49	-	-	-	-	-	-	-
Total	100.20	100.31	100.31	100.02	100.24	99.76	99.59	99.51	99.59	99.53	99.64	100.27	-

No.	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
SiO ₂	84.33	75.34	83.46	78.42	87.38	87.09	88.97	77.76	78.62	80.71	80.89	74.24	77.41
TiO ₂	0.14	0.28	0.18	0.25	0.13	0.13	0.14	0.28	0.27	0.29	0.20	0.25	0.30
Al ₂ O ₃	6.66	12.22	8.80	11.05	6.36	5.38	5.53	11.95	11.44	10.62	10.70	13.75	11.87
Fe ₂ O ₃	0.35	0.22	0.24	0.72	0.14	0.05	0.27	0.58	0.78	0.31	0.09	0.37	0.75
FeO	0.55	1.40	0.67	1.11	0.53	0.66	0.48	0.98	1.01	0.75	0.86	1.09	1.02
MnO	0.03	0.05	0.02	0.04	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
MgO	0.18	0.68	0.32	0.57	0.21	0.25	0.19	0.58	0.58	0.32	0.35	0.46	0.48
CaO	1.88	1.33	0.24	1.14	0.78	1.79	0.08	0.28	0.25	0.30	0.60	0.92	0.31
Na ₂ O	2.62	3.44	2.57	1.92	2.17	1.81	1.36	2.92	1.88	3.28	4.01	4.23	2.56
K ₂ O	0.99	1.38	2.82	2.22	1.08	0.83	2.14	3.44	3.68	2.56	0.88	2.98	3.46
P ₂ O ₅	0.03	0.05	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.08	0.04
H ₂ O+	-	1.38	0.42	-	-	-	0.49	1.04	1.16	0.62	-	0.26	-
H ₂ O-	-	0.14	0.26	-	-	-	0.03	0.13	0.15	0.08	-	0.26	-
CO ₂	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	0.53	-
C	-	-	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	-
S	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-
Ig. L.	1.81	-	-	2.28	1.06	1.88	-	-	-	-	0.95	-	1.30
Others	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	99.57	98.31	100.07	99.76	99.88	99.92	99.71	99.99	99.87	99.90	99.58	100.14	99.53

No.	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
SiO ₂	80.64	72.67	74.73	74.72	81.25	78.43	70.34	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	0.21	0.32	0.30	0.27	0.24	0.32	0.69	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	9.93	14.36	12.73	12.75	9.85	10.76	16.12	-	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	0.54	0.30	0.28	0.35	0.13	0.40	1.16	-	-	-	-	-	-
FeO	0.72	1.64	1.72	1.46	0.87	1.48	4.83	-	-	-	-	-	-
MnO	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03	-	-	-	-	-	-	-
MgO	0.35	0.71	0.72	0.60	0.46	0.60	2.85	1.15	1.03	1.45	1.50	0.98	0.56
CaO	0.42	1.30	0.97	0.98	0.34	0.62	0.58	-	-	-	-	-	-
Na ₂ O	2.22	3.58	3.28	3.14	2.32	2.76	1.89	3.32	3.74	3.83	4.59	4.24	3.01
K ₂ O	3.59	3.80	3.44	3.86	3.04	3.10	0.81	2.73	3.26	2.28	2.02	1.52	1.45
P ₂ O ₅	0.03	0.08	0.06	0.05	0.15	0.07	-	-	-	-	-	-	-
H ₂ O+	-	0.77	1.10	1.02	-	0.98	1.11	-	-	-	-	-	-
H ₂ O-	-	0.14	0.17	0.16	-	0.12	-	-	-	-	-	-	-
CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ig. L.	0.96	-	-	-	0.89	-	-	-	-	-	-	-	-
Others	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	99.63	99.70	99.54	99.39	99.56	99.67	100.38	-	-	-	-	-	-

No.	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
SiO ₂	-	-	-	-	-	-	59.99	49.59	76.94	67.04	69.24	56.56	87.14
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	0.84	0.86	0.20	0.94	0.91	0.45	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	15.71	17.14	10.70	14.52	14.31	12.79	8.24
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	2.82	17.02	0.10	4.53	2.12	0.88	0.26
FeO	-	-	-	-	-	-	3.20	-	1.05	1.78	1.67	2.05	-
MnO	-	-	-	-	-	-	0.10	0.52	0.00	0.10	0.03	0.17	-
MgO	0.95	0.79	0.37	1.04	0.53	0.79	2.22	3.32	1.76	2.99	3.21	1.04	0.28
CaO	-	-	-	-	-	-	4.06	8.44	2.50	0.69	0.69	10.96	0.00
Na ₂ O	2.06	2.55	3.08	2.73	2.92	2.41	5.63	0.44	2.10	2.66	2.74	1.93	0.78
K ₂ O	2.09	1.03	1.29	1.06	2.92	1.00	1.58	0.21	2.80	0.67	0.59	2.30	1.87
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	0.13	0.45	0.10	-	-	0.16	-
H ₂ O+	-	-	-	-	-	-	1.66	-	1.08	4.01	3.92	2.36	-
H ₂ O-	-	-	-	-	-	-	1.15	-	0.18	0.87	0.95	0.45	-
CO ₂	-	-	-	-	-	-	0.09	-	-	-	-	7.69	-
C	-	-	-	-	-	-	0.10	-	-	-	-	-	-
S	-	-	-	-	-	-	0.29	-	-	-	-	-	-
Ig. L.	-	-	-	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	1.56
Others	-	-	-	-	-	-	-	2.05	-	-	-	-	-
Total	-	-	-	-	-	-	99.62	100.04	99.51	100.80	100.38	99.79	100.13

1-3: 秩父帯。4, 5: 三郡帯。6-8: 美濃帯(丹波帯)。9-11: KATADA et al. (1963, 1964), 美濃帯。12-15: ISOMI et al. (1966), 美濃帯。16: 河野(1933), 美濃帯(筑波帯)。17-29: 南部北上帯。30-32, 36: 片田ほか(1971), 北部北上帯。33-35, 37: 北部北上帯。38-54: 岩泉帯。55-56: 田老帯(以上本州地向斜)。57: 木崎(1953), 中生代日高帯。58-69: 白亜紀-第三紀四万十帯。70, 71: 片田ほか(1973), 中生代相の島帯。72: 前田(1960), 中生代手取層群。73, 74: 三木ほか(1974), 古第三紀天草層群。75: 本島ほか(1960), 古第三紀釧路層群。76: 神津(1913), 新第三紀五島層群。文献名を示してない分析値が, 今回新たに公表するもので, 分析者は大森えい・大森貞子。

の起源としては, 一般的に次の3者が推定される。すなわち, 生物起源のもの, 碎屑性のもの, および斜長石の分解によるものである。

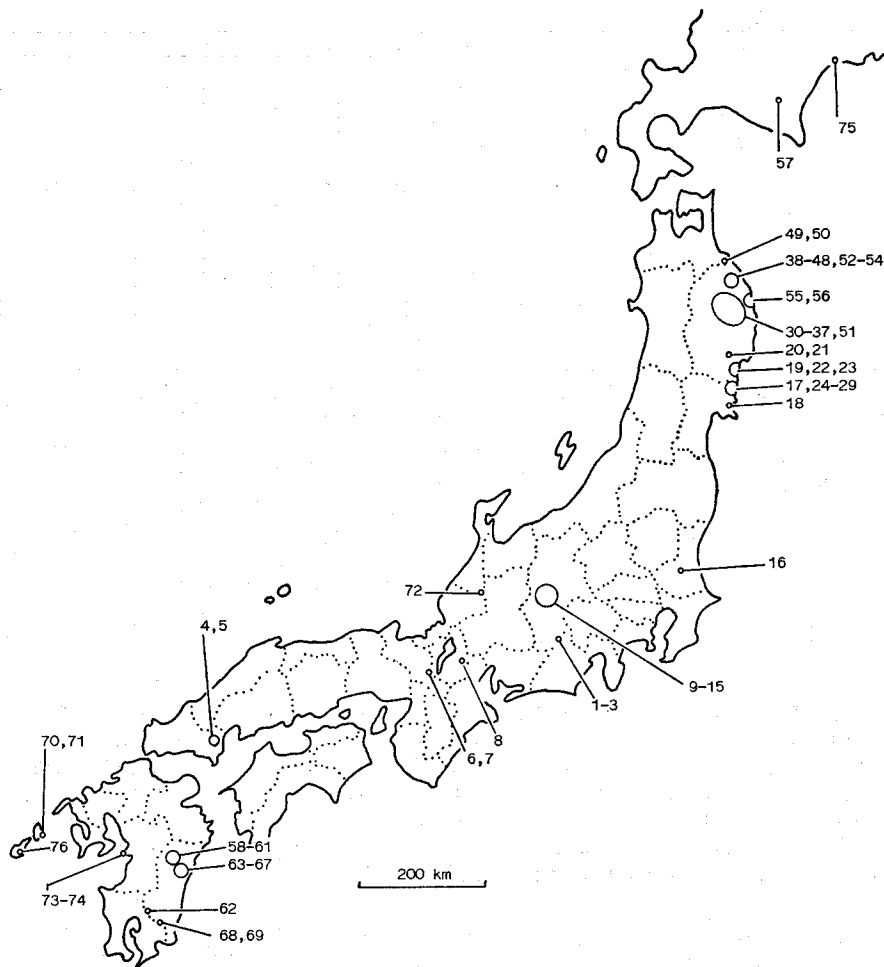
生物起源とは化石などである。この場合, 化石の形態が必ずしも保たれているわけではなく, 生物体が一度溶解・再沈殿して生じた方解石が, 明瞭な化石と共に存在するのが普通である。

碎屑性とみなされるものの多くは, 細粒の炭酸塩鉱物の集合体である。外形は丸味を帯び, よごれた感じの縁をもっていることがある。鉱物はしばしばドロマイトである。ただしここで碎屑粒と考えたものの中にも, 生物体の一部が混在している可能性があるし, 陸域から運搬されたものとしても, それは石灰岩の碎屑物であって, もとをたどればやはり生物起源である。しかし美濃帯や岩泉帯などには, 外見上碎屑粒と解されるものが散見されるので, 一応にこれを上記生物起源のものとして区別した。

斜長石の分解で生じたとみなされるものは, 斜長石の一部を交代しているか, 斜長石結晶に接してみられる不定形の方解石である。

もし鏡下の計測や CO₂ の量から, 碎屑性のものを含めて生物起源の炭酸塩鉱物の量が推定でき, それに見合うだけの CaO を分析値から引き去るとすれば, 残りの CaO のほとんどは斜長石またはそれから生じた方解石に含まれるであろう。

大半の砂岩では, Na₂O の大部分は斜長石に含まれ, 少数例では曹長石に含まれる。したが



第1図 分析試料の採取位置
番号は第1表の番号に同様。

って多くの例では、上記の CaO と Na_2O の量と比によって、砂岩中の斜長石の量と成分を推定することが可能である。

K_2O は碎屑性のカリウム長石・白雲母と、マトリックス中の自生の絹雲母に含まれる。白雲母と絹雲母は砂岩中では少量であるから、砂岩の K_2O の過半はカリウム長石に含まれる。

ただし現在わかっている限り、カリウム長石を含まない試料でも（マトリックスには微粒の結晶を含むかも知れない）、 K_2O は零に近いわけではない。たとえば南部北上帯では、 K_2O 1%以下の試料はカリウム長石を欠き、1.03%の試料 no. 21には含まれている。岩泉帯では、 K_2O 0.88%の no. 48には含まれず、それ以外の、0.99%またはそれ以上のものには含まれている。また四十万帯では、1.5%以下の試料には含まれず、それ以上のものには含まれている（第3図b）。

以上述べてきたことからわかるように、 $\text{CaO-Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$ 三角図は、適当な補正を加えると、火成岩の場合のように、砂岩に含まれる斜長石の、成分やカリウム長石との量比などを推定す

ることができる。

3.2 各地質区の砂岩

古生代後期—中生代前期の本州（秩父）地向斜砂岩の供給源岩に関しては、片田・小野(1978)によってその概要が議論されている。それによると、本州地向斜砂岩の主な供給源岩は、ほとんどの地質区で、比較的珩長質の深成岩・火山岩・変成岩である。しかし南部北上帯の場合は、中性—苦鉄質火山岩がかなり多く存在した。

以下この議論に引き続き、各地質区や地層群の砂岩の斜長石の成分などに関して、いくつかの事実を指摘しよう。砂岩の石英・長石の容量比を第2表に、CaO-Na₂O-K₂O 三角図を第2図に示す。

A) 第2図 a は、美濃帯、長野県木曾地方の砂岩である。全体として、三角図のほぼ中央部に位置するのが特徴である。CaO 頂点に近い2試料 no. 11, 13 は、碎屑性と思われる炭酸塩鉱物を比較的多く含んでいる (CO₂=3.49, 3.28%)。No. 9, 10, 12, 14, 15 も炭酸塩鉱物を含んでおり (CO₂, 最大2.41%)、これも少なくとも一部は碎屑性のものらしい。したがって、no. 9 などの CaO をやや少なく見積ったものが、木曾地方砂岩の斜長石に含まれる CaO であろう。斜長石の種類はオリゴクレスないシアンデシンである。この値は鏡下の観察事実と一致している。

また木曾地方の砂岩は K₂O が比較的多いが、その理由は、カリウム長石 (10—17%) と白雲母 (最大6%) に富むからである。

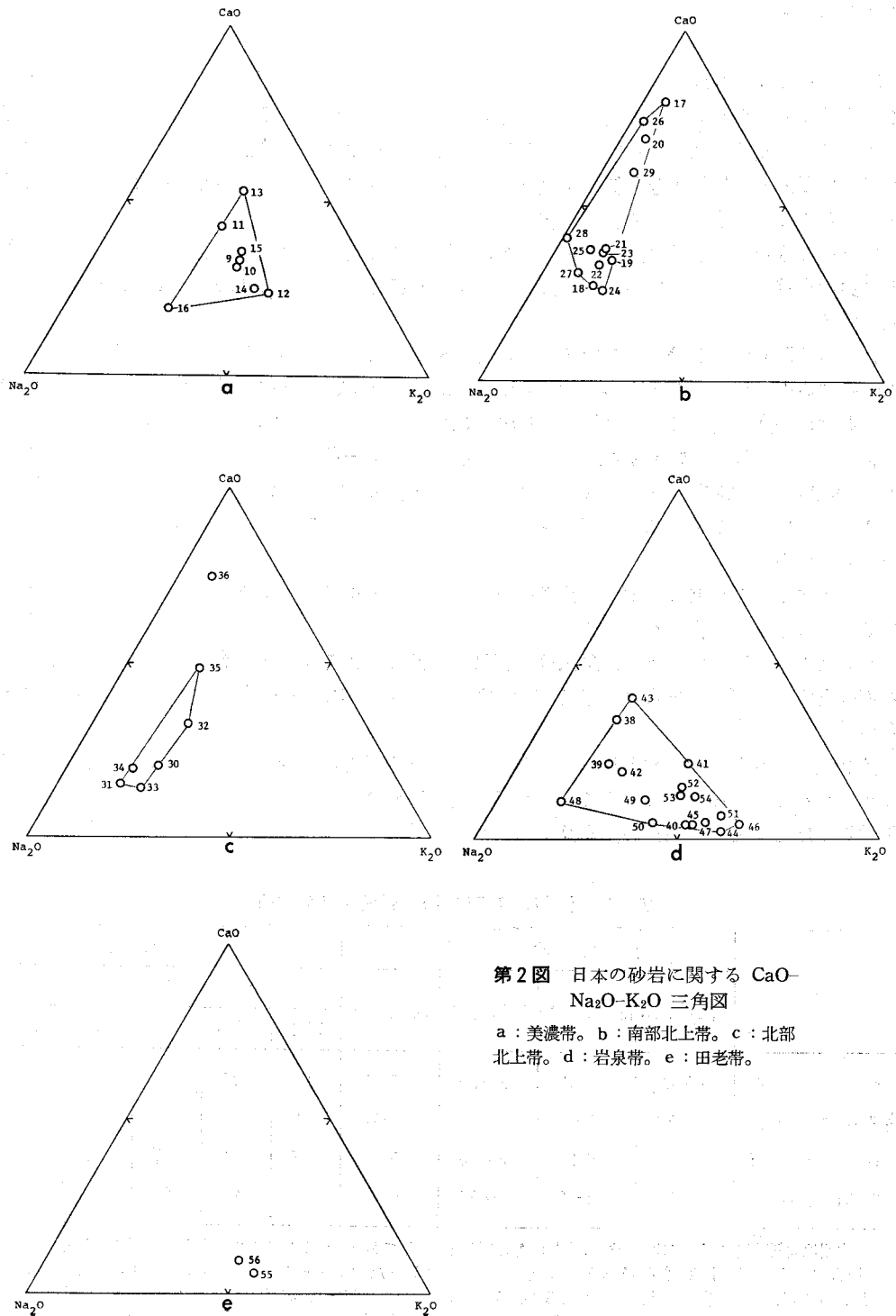
B) 南部北上帯では、下部二疊系坂本沢層の一部などに珩長質火山岩起源の砂岩を産するのを例外とすると (この砂岩は分析していない)、上記のように中性—苦鉄質火山岩起源の砂岩が多い。

第2表で石英と長石の容量比をみると、南部北上帯以外の砂岩の多くは、石英>斜長石>アルカリ長石で、少数例として石英≒斜長石、斜長石≒アルカリ長石である。ところが南部北上帯砂岩のほとんどが、斜長石>石英>アルカリ長石 (カリウム長石) であり、アルカリ長石の

第2表 本州および四万十地向斜砂岩の鉱物組成

	本 州 地 向 斜				四 万 十 地 向 斜				
	美 濃 帯 (木曾地方)	南部北上帯	北部北上帯	岩 泉 帯	九 州 の 四 万 十 帯				
					Sl 1	Sl 2	Su 1-2	Su 3	Su 4
石 英	40-47%	10-15	20-30	35-75	23	28	43	46	40
アルカリ長石	10-17	0-3	1-20	5-15	5	11	1	2	9
斜 長 石	7-20	35-55	20-30	5-30	27	34	25	26	21
火山岩岩片	<5	8-40	5-27	<5	41	25	26	22	26

本州地向斜砂岩に関しては、全岩に対する量比の範囲を示してあり、マトリックスの量は8-15%である (片田・小野, 1978)。四万十地向斜砂岩の場合は、マトリックスを除いたフレームワーク・グレインにおける平均容量比。Sl 1: 下部白亜系86試料。Sl 2: 上部白亜系ギリヤーク統一浦河統195試料。Su 1-2: 晩新統?—始新統46試料。Su 3 および Su 4: 漸新統—下部中新統44および104試料。なお、アルカリ長石の大部分はカリウム長石であるが、岩泉帯の場合には曹長石がかなり含まれる。



第2図 日本の砂岩に関する CaO-Na₂O-K₂O 三角図

a: 美濃帯。b: 南部北上帯。c: 北部北上帯。d: 岩泉帯。e: 田老帯。

量が2.0%を起すことはきわめてまれである。そして火山岩岩片が多く、40%に達するものがある。

それを反映して南部北上帯砂岩の化学成分は、 SiO_2 、 K_2O が少なく、 Al_2O_3 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O が多い(第1表)。したがって第2図bでは、 $\text{CaO}-\text{Na}_2\text{O}$ 辺に沿ってプロットされている。

このうち CaO 頂点に比較的近い no. 17, 20, 26は、生物起源の方解石を多く含むものである($\text{CO}_2=6.84-11.68\%$)。つぎの no. 29は、薄衣礫岩層中の砂岩であるが、方解石・エピドート・プレーナイトを少量ずつ含んでいる。エピドート・プレーナイトの少なくとも一部は碎屑性である。これらの鉱物の存在のために CaO が比較的多いのであろう。

以上4試料を除く砂岩の斜長石は、それらの中にも生物起源らしい方解石が少量認められることを考慮して判断すると、主にアンデシン、一部オリゴクレスである。この値は美濃帯の場合とあまりかわらない。

しかしながらこの斜長石成分は、供給源岩として苦鉄質岩がかなり存在していたという予想と若干くいちがい、全体として曹長石質すぎるようである。とくに、no. 19, 22は、安山岩—玄武岩岩片を30—40%含むものであるが、斜長石成分はそれほど石灰質ではない。その理由の1つは、斜長石は堆積後に曹長石質のものに変質したためではないかと推察される。そしてこの変質作用(曹長石化作用)は、下記の理由から、おもに白亜紀の大島変動の時期に生じたのではないかと考えられる。

まず北上山地全体と美濃帯木曾地方の“非変成”古・中生層泥岩を比較してみると(小野・片田, 1970), 前者は明らかに H_2O に乏しく、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ 比が小さい。つまり北上山地では木曾地方におけるよりも、泥岩の脱水作用と還元作用が進んでいる。これは、北上山地が大島変動の時期に、低変成度の変成作用をうけたためと思われる。この変成作用によって、泥岩は、登米層で代表されるようなスレートに変化している。このスレート化現象は、北上山地全体にわたる広域的なものであり、砂岩の場合にも鏡下でスレート劈開の形成を認めることができる。この時期に、堆積岩中の斜長石は曹長石化作用をうけたのであろう。

なお南部北上帯砂岩中には、砂屑性と思われるエピドートが、少量ながら普遍的に認められる。供給源地の火山岩は変質作用が進んでいたのかも知れない。もしそうだとすると、斜長石の曹長石化作用は、供給源地でも一部進行していた可能性がある。

C) 北部北上帯砂岩の供給源岩も、岩片から察すると珪長質岩が多い。ただし美濃帯木曾地方のものに比べて、深成岩や変成岩は少なく、火成岩が多い。そのため北部北上帯砂岩は、石英・アルカリ長石が少なく、斜長石と珪長質火山岩岩片(5—27%)が多い。

第2図cの北部北上帯砂岩のうち、 CaO 頂点に近い no. 36は、マトリックスが方解石の特異な試料である($\text{CO}_2=9.27\%$)。No. 32, 35は成因不明の方解石細脈をわずかに含み、また no. 35には碎屑性と思われるエピドートが約1%存在する。これらの事実を考慮して一般的な斜長石の成分を三角図から判断すると、木曾地方・南部北上帯いずれよりも曹長石質であって、多くはオリゴクレスである。木曾地方との差は曹長石化作用の強弱に起因し、南部北上帯との差は供給源岩のちがいによるものであろう。またアルカリ長石として曹長石のみられる試料があり、これらも $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ 比を低くしている一因である。

D) 岩泉帯砂岩は、おもに花崗岩(および変成岩・堆積岩?)に由来したものと考えられるが、鉱物組成の変動が大きく、化学組成のばらつきもはげしい。全般的に石英・アルカリ長石

が多く、斜長石が少ない。アルカリ長石として曹長石が比較的多いのが特徴的である（片田・小野, 1978）。曹長石は、鏡下において、曹長石質斜長石やカリウム長石とは、特有の双晶の存在によって識別される。カリウム長石に似ているけれども、染色法によれば区別は容易である。このような曹長石は、他の地質区でもわずかながら認められ、北部北上帯にはやや顕著に存在する。そして岩泉帯ではとくに顕著であって、しばしばカリウム長石より多く、ときにアルカリ長石として曹長石だけが存在する。

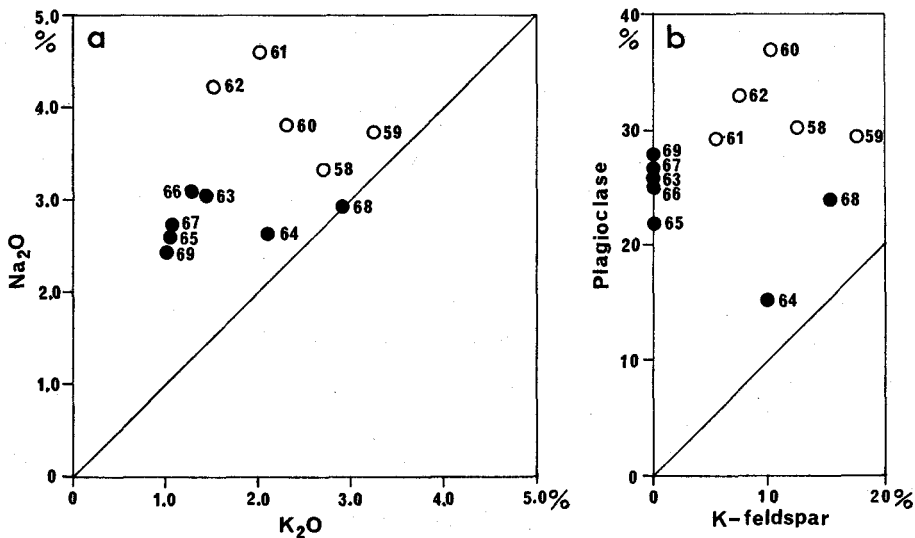
一般に曹長石は低変成度の変成岩に認められるから、上記の曹長石も変成岩起源の可能性がないわけではない。しかしながら、岩泉帯砂岩には低変成度変成岩岩片はまれである事実と、南部北上山地の一部の花崗岩、たとえば氷上花崗岩やデボン系の花崗岩礫にはこの種の曹長石が見出される事実から推定すると、問題の曹長石も花崗岩起源のように思われる。

第2図dでは、以上のような鉱物組成を反映して、 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ 辺に近い所の広い範囲にプロットされている。 Na_2O 頂点に近い no. 48は、カリウム長石を含まず、曹長石を10%含むものである。

E) 田老帯の腰廻層には砂岩がよく発達する（第2図e）。この砂岩は石英に富み斜長石が乏しい。アルカリ長石は比較的多いが、曹長石はあまり含まれない。

今まで述べた北部北上山地の3帯は、二疊紀から白亜紀にかけての地向斜堆積物である。そして従来は、北部北上帯には主として二疊系が、岩泉帯には三疊系が、田老帯には白亜系が分布するとされていた。しかし最近、3帯いずれからも三疊紀のコノドントが見出されたことから（植杉, 1979; 吉田, 1979）、3帯は一続きのものではないかと思われるようになった。

ここで北部北上帯と岩泉帯の砂岩の性質をもう一度考えてみると、上にのべたように、両者の間には、鉱物・化学組成に関して大きな差異が認められる。その主要な原因は供給源岩に差



第3図 九州四万十帯砂岩の Na_2O と K_2O 、斜長石とカリウム長石との関係

a, b 図とも no. 61, 62: 下部白亜系。60, 58, 59: 上部白亜系。63, 66, 67: 晩新統?—始新統。69, 65, 64, 68: 漸新統—下部中新統。層序的には後に示した番号の試料ほど上位。b 図の値は、マトリックスを除いて計算した容量比。

があったためと考えられる。つまり、北部北上帯の場合は比較的珩長質の火山岩が多く、岩泉帯の場合は花崗岩が多かったというちがいである。地質学的にみると、両帯の供給源地が異なっていたのか、同じであっても地質時代が若干異っていたため別種の岩石が露出していたのか、何れかの可能性がある。そのどちらであるのかは今後の問題であろう。

岩泉帯砂岩と田老帯砂岩は、まったく同質ではないがとくに異なるわけでもない。

F) 四万十帯の四万十累層群においては、砂岩の鉱物組成が、白亜系と第三系で著るしく異なり、また両系の中でも層準によってかなり変化する。

寺岡(1977, 1979)によると、白亜系(下部四万十層群)の砂岩は石英<長石、第三系(上部四万十層群)の砂岩は、一般に石英>長石である。そしていずれにおいても斜長石 \gg カリウム長石である。下部白亜系砂岩はしばしばカリウム長石を欠くが、上部白亜系ではほとんどの場合5—15%含み、カリウム長石/全長石の比の平均は0.33程度である。第三系ではまたカリウム長石を欠く砂岩が多くなり、上記の比が著しく低下する。しかし上位の層準になると、ふたたびこの比が大きくなり、最上部の地層(Su 4)ではその平均が0.32に達する。

砂岩の鉱物組成から推定すると、四万十累層群の堆積物は、主として内帯の花崗岩類および珩長質—中性火山岩から供給されたものである。第三系の場合には、三波川帯ないし四万十帯北部の地帯からの堆積岩・変成岩碎屑物もかなり含まれているものと推定される。

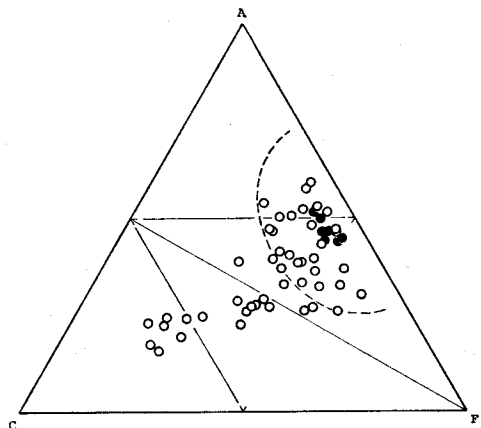
第3図に九州四万十帯における各時代の代表的な砂岩の、 Na_2O と K_2O および斜長石とカリウム長石の量的関係を示してある。この図からわかるように、いずれの砂岩も $\text{Na}_2\text{O} \geq \text{K}_2\text{O}$ であり、 Na_2O は下部白亜系・上部白亜系・第三系と順次減少する。白亜系および第三系の中では、それぞれ上位の層準にむかって K_2O が増加する傾向がみられる。化学組成のこのような層序的变化は、鉱物組成のそれとよく対応している。なおカリウム長石は、上記のように、 K_2O が1.5%以上の砂岩に含まれ、それ未満のものには認められない。

四万十帯の白亜系砂岩は、石英・長石の量比および MgO 、 Na_2O 、 K_2O の量が、北部北上帯のものと似ている。

G) 北西九州、相の島帯の白亜系(第1表, no. 70, 71; 片田・松井, 1973)は、比較的規模の小さい堆積盆内の堆積物である。砂岩は、現在では変成岩になっているため、本来の詳細な岩質は不明であるが、砂岩に伴う礫岩の礫種から推定すると、苦鉄質ないし珩長質火山岩起源らしい。

No. 70は、本来おもに石英・長石から構成されており、その中でもとくに斜長石に富んでいたものと思われる。化学組成は、南部北上帯のいくつかの砂岩によく似ている。No. 71は、斜長石・有色鉱物(有色珩酸塩鉱物と鉄鉱)、とくに有色鉱物に富んだ砂岩であったと推定される。 SiO_2 が少なく、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 、 MgO 、 CaO が異常に多い。

H) 新第三紀五島層群の砂岩(第1表, no. 76; 神津, 1913)は SiO_2 が非常に多く(87.14%)、他の成分はいずれも少ない。原



第4図 日本の砂岩に関するACF図
記号は本文参照。

著に詳しい記載はないが、この層群特有の、ほとんど石英からなる優白色砂岩の一種であろう。鉱物学的成熟度の大きな砂岩の好例である。

I) 最後に、第1表の砂岩をACF図に(補正しないで)プロットすると第4図のようになる。白丸が砂岩である。黒丸は、本州地向斜泥岩の各帯における平均値で(片田・小野, 1978, 第1表1-7), 破線で囲んだ部分が日本の古・中生代泥岩のプロットされるおもな範囲である。泥岩に比較すると、砂岩はC頂点に近い所まで拡がっている。このため砂岩は、熱変成作用などをうけた時、ホルンブレンド・透輝石・Caざくろ石など、Caを含む鉱物を生じることがある。

4 砂岩の平均化学組成

おしまいに、いくつかの砂岩の平均化学組成を検討してみよう。

第3表Aは、本州地向斜砂岩の平均値である¹⁾。BがCLARKE and WASHINGTON (1924)による砂岩平均値、CとDがPETTIJOHN (1975)によるグレイワッケとアルコースの平均値である。

まずBとC、Dを比較すると、BはDによく似ている。ただしBはDより、MgO, CaO, CO₂ がやや多く、Al₂O₃, Na₂O, K₂O が少ないから、Bの砂岩は、炭酸塩鉱物が若干多く、

第3表 砂岩の平均化学組成

	A	B	C	D
SiO ₂	72.27	78.31	66.7	77.1
TiO ₂	0.39	0.25	0.6	0.3
Al ₂ O ₃	11.91	4.76	13.5	8.7
Fe ₂ O ₃	0.71	1.08	1.6	1.5
FeO	2.14	0.30	3.5	0.7
MnO	0.06	tr.	0.1	0.2
MgO	1.18	1.16	2.1	0.5
CaO	2.43	5.50	2.5	2.7
Na ₂ O	3.22	0.45	2.9	1.5
K ₂ O	2.04	1.32	2.0	2.8
P ₂ O ₅	0.08	0.08	0.2	0.1
H ₂ O+	1.72	} 1.63	2.4	0.9
H ₂ O-	0.23		0.6	—
CO ₂	2.31	5.04	1.2	3.0
C	0.11	—	0.1	—
Others	—	0.12	0.4	—
	100.80	100.00	100.4	100.0

A: 本州地向斜砂岩43分析値の平均(片田・小野, 1978)。B: 砂岩253試料の混合試料分析値 (CLARKE and WASHINGTON, 1924)。C: グレイワッケ61分析値の平均(PETTIJOHN, 1975)。D: アルコース32分析値の平均(PETTIJOHN, 1975)。

長石が少なかったのかも知れない。

つぎにAとC、Dを比較すると、Aのほとんどの成分がCとDとの間の値である。Aの値は43分析値の平均であるが、そのうち8分析値は南部北上帯のものである。上述のように南部北上帯砂岩は特異であって、SiO₂, K₂O が少なく、Al₂O₃, Fe₂O₃+FeO, MgO, CaO, Na₂O が多い。したがって南部北上帯砂岩を除いて計算すると、Aの本州地向斜砂岩の平均値は、Dのアルコースにもっと似てくる筈である。南部北上帯以外の本州地向斜砂岩は、グレイワッケとみなされるものが少ないが、その化学的性質はこのようにアルコース的要素の強いものである。その理由は、砂岩の多くが珪長質岩起源だからである。

なお、AのCO₂が方解石中に含まれるとすると、CaOのすべても

1) 片田・小野(1978)によるもので、この報文の第1表の分析値の平均とは、ごくわずかの差がある。第1表のno. 9-54のうち、no. 25-29を除き、石原舜三ほかによる未公表3分析値を加えたものの算術平均値である。

方解石に含まれ、さらに CO_2 が余るといふ、やや不自然なことになる。その第1の理由は、(CO_2 の分析値はすべて筆者たちのものであるが) 分析試料が、主に美濃帯・南部北上帯などの、方解石を比較的多く含むものであるため、Aの CO_2 の値は一般の砂岩の平均値としては若干大きすぎるからである。第2の理由は、美濃帯などではドロマイトがみられ、 CO_2 は CaO 以外に MgO とも結合しているからである。

同じような注意をはらってみると、B、Dにおいても、 CO_2 は、方解石だけを構成しているとするには値が大きすぎる。

文 献

- CLARKE, F. W. and WASHINGTON, H. S. (1624), The composition of the earth's crust, *U. S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 127, 117 p.
- ISOMI, H., KATADA, M., OMORI, E. and OMORI, T. (1966), Singular characteristics of chemical composition of the Permian graywacke from the Kiso mountains, central Japan, *J. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, vol. 55, p. 145-159.
- 金谷 弘・片田正人 (1975), 南部北上山地登米相と薄衣相のカリウム・トリウム・ウランおよび帯磁率, 地調月報, vol. 26, p. 13-27.
- KATADA, M., ISOMI, H., OMORI, E. and YAMADA, T. (1963), Chemical composition of Paleozoic rocks from northern Kiso district and of Toyoma clayslates in Kitakami Mountainland: II. Chemical composition of psammitic rocks and basalts, *J. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, vol. 50, p. 151-162.
- , ———, ——— and ——— (1964), *Ibid.*: Supplement. Carbon and carbon dioxide. *J. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, vol. 52, p. 217-221.
- 片田正人・磯見 博・大森えい (1971), 北部北上帯古生層の砂岩とスレート (予報), 岩鉱, vol. 65, p. 129-143.
- 片田正人・神戸信和・大森えい (1973), 南部北上山地二疊紀登米相泥質岩の Na_2O と K_2O , 地調月報, vol. 24, p. 233-242.
- 片田正人・松井和典 (1973), 北西九州, 相の島帯の変成岩類, 地調報告, no. 246, 35 p.
- 片田正人・小野千恵子 (1978), 本州地向斜の砂岩・泥岩の供給源岩について, 地質雑, vol. 84, p. 141-154.
- 木崎甲子郎 (1953), 日高帯札内川上流の変成岩およびミグマタイト類につて (第1報), 地質雑, vol. 59, p. 203-215.
- 河野義礼 (1933), 峯寺山産球顆岩石の化学的研究 (概報), 岩鉱, vol. 10, p. 124-134.
- 神津俣祐 (1913), 20万分の1地質図幅「福江」および同説明書, 地質調査所, 55 p.
- 前田四郎 (1960), 手取層群産一砂岩の化学成分, 地質雑, vol. 66, p. 685-686.
- 三木 孝・松枝大治 (1974), 西九州天草の赤崎層について, 九大理研報 (地質), vol. 12, p. 27-40.
- 本島公司・安藤 厚・川野昌樹 (1960), 水成岩の研究につて——化学組成と堆積環境——, 石油技誌, vol. 25, p. 298-303.
- 小野千恵子 (1976), 岩石の平均化学成分とその図示, 5. 中生代, 四万十・和泉・田老・日高地向斜の泥岩, 地調月報, vol. 27, p. 783-787.
- 小野千恵子・片田正人 (1970), 北上山地の古生層泥質岩変成相の化学成分に関する 2, 3 の事実, 地調月報, vol. 21, p. 301-308.
- PETTIGORN, E. J. (1975), *Sedimentary rocks* (3d ed.), Harper & Row, 628p.

- 寺岡易司 (1977), 西南日本中軸帯と四万十帯の白亜系砂岩の比較——四万十地向斜堆積物の供給源に関連して——, 地質雑, vol. 83, p. 795-810.
- (1979), 砂岩組成からみた四万十地向斜堆積物の起源, 地質雑, vol. 85, p. 753-769.
- 植杉一夫 (1979), 北部北上山地田老帯からのコノドントの発見と構造発達史の再検討 (演旨), 地質学会86年大会講演要旨, p. 368.
- 吉田鎮男 (1979), 北部北上帯・南部北上帯境界域 (岩手県川井村) の地質構造 (演旨), 地質学会86年大会講演要旨, p. 369.

Chemical Composition of Sandstones in Japan

Masato KATADA and Yoji TERAOKA

Abstract

Chemical analyses for seventy six sandstones of late Paleozoic to Tertiary age in Japan are collected and discussed from the geological point of view.

The sandstones show distinct variations in chemical composition as well as mineralogical one in relation to geologic ages and provinces. The kind and nature of source rocks of sandstones are well reflected in such properties of clastic feldspars as abundance of total feldspars, alkali feldspars/plagioclase ratio and chemical composition.

Average chemical composition of the sandstones in Japan are briefly discussed in comparison with those in the world.