

資 料

549 : 553.611 : 54 (09)

粘土の化学的組成の発達史*

A. P. Vinogradov & A. B. Ronov

小 西 善 治 訳

Russkii Plate-forme 地域では、粘土層はほとんど全地層の層序にわたつてみられる。しかし粘土の存在量と炭酸塩質岩石の存在量とは逆比例関係を示している。オルドビス系・シルル系・上部石炭系・下部二畳系および上部白堊系中では粘土層はきわめて少なく、しばしば地球化学的意味をまったく失っている。この時代には炭酸塩質岩石か炭酸塩質粘土岩(泥灰岩)かが卓越している。しかしデボン紀後期・石炭紀前期および中期の石灰岩・白雲岩・泥灰岩層中では粘土層は広範囲にわたつて発達し、累系中では厚層を形成して挟在し、砂岩と数枚の互層をなしている。粘土層は中部デボン系と上部二畳系中ではきわめて重要な役割を演じ、震旦紀・カンブリア紀・三畳紀・ジュラ紀・白堊紀後期・古第三紀および新第三紀の陸源性堆積層中では卓越せる岩石となつている。粘土層の平均存在量は Plate-forme にみられる堆積物の全分布地域の 33% に達している。

Plate-forme の粘土では海成・頗海成堆積物が優勢である。しかし淡水盆地・沖積地・デルタ地帯に沈積、生成された粘土も相当広域にわたつて発達している。

粘土鉱物の大部分は化学的性質からみると、アルミ・ケイ酸塩 (Kaolinite hydromica, Beidellite) である。堆積岩中にはきわめてまれであるが、鉄・ケイ酸塩鉱物 (Nontronite, Saponite, Palygorskite, Kerorite) に出会することがある。

Plate-forme で採取した平均粘土試料については SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , CO_3 , CO_2 の含有量と Co, Ni, Cu, Th, U の加熱減量とが決定されている。

種々の地質年代の粘土の化学的組成は第 1 表に掲げられている。この表と Clark, Hougén のデータとを比較すると、Plate-forme の粘土は Na_2O が著しく少なく、 CaO , MgO , CO_2 に富んでいる。すなわち Plate-forme はアメリカおよびヨーロッパ^{註 1)}のそれよりも著しく炭酸塩質である。

K, Na の時間変移曲線を求めると(第 1 図参照)、K の含有量の低下率は Na の 2 倍に達している。Na の含有量は、震旦系から新生界にかけて僅か増加する。Na の存在量は事実上において変化がないものと考えられるであろう。この傾向は北米大陸の粘土中におけるアルカリの存在量と類似している。残念なことにはアメリカのデータは先カンブリア・古生代・中生代に時代を大きく区分している。しかし一般的傾向を知るために対比すると次の現象が認められる。両大陸では、古生代の粘土は白堊紀の粘土に比し K に富むが Na の含有量は低い。さらに中共の plate-forme 地域の震旦紀粘土は K を著しく多量に含むが、Na は事実上認められないが、第四紀の氷河期の粘土(ノールウェー)は、Na で著しく富化(enrich)されている(第 2 表参照)。

古期粘土が K で enrich されているのは、削剥産物が古期乾陸(削剥皮殻、土壌)で盛んに生成されたことを示している。さらに K に富む水雲母もまた初成雲母およびカリ長石の変質によつて生成されたことが考えられる。この種鉱物は、周知のように、花崗岩・花崗片麻岩および

* Виноградов, А. П., И Ронов, А. Б.: Эволюция химического состава глин Русской платформы, Геохимия 2, p. 3-18, 1956.

註 1) Hougén H., Klüver E., Lökke O. A., Stat. Rastffkom (Oslo), publication No. 22, 1925.

第1表 粘土質層の平均化学的組成

系 統 階	試 料	採取総試料数	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
震旦系	17	765	58,21	18,34	8,37	0,88
カンブリア系	14	436	60,36	17,83	6,71	0,84
オルドビス系	8	198	43,77	11,82	5,25	0,64
ゴナラル系	6	531	49,58	12,62	5,46	0,60
シル系	14	729	46,24	12,16	5,34	0,62
下部古生界	45	1939	55,16	16,25	6,94	0,76
中部デボン系	41	822	49,93	16,26	6,69	0,80
Franskii 階	41	1433	46,48	14,52	6,99	1,02
Famenskii 階	9	253	40,01	11,18	5,15	0,57
上部デボン系	53	1721	45,34	14,02	6,59	0,93
下部石炭系	94	2543	47,34	15,00	6,64	0,87
中石炭系	17	267	54,09	18,49	6,39	0,99
石炭系	19	241	50,99	16,11	6,62	0,70
Ubimskii 階	36	508	52,45	17,24	6,51	0,84
Kazanskii 階	7	91	49,92	14,16	7,29	0,61
Tatarskii 階	10	179	37,63	9,65	4,82	0,49
上部二畳系	9	408	43,22	10,89	5,49	0,56
二畳系	27	708	42,48	11,22	5,65	0,55
中部・上部古生界	28	730	42,97	11,45	5,78	0,57
古生界	158	3781	47,73	14,88	6,46	0,81
三畳系	203	5720	49,38	15,21	6,56	0,80
下部ジュラ系	4	121	50,74	14,72	6,12	0,71
中上部ジュラ系	3	17	58,35	17,03	7,37	0,80
上部ジュラ系	3	57	57,89	17,65	5,67	0,81
ジュラ系	7	180	50,91	15,25	5,98	0,71
下部白堊系	16	328	55,12	16,55	6,24	0,77
上部白堊系	8	183	58,24	18,76	6,54	0,86
白堊系	4	72	51,52	10,49	4,61	0,50
中生代	12	255	56,09	16,00	5,90	0,74
第三紀	32	704	54,94	16,11	6,09	0,75
第四紀	12	352	57,10	11,59	6,14	0,59
新第三紀	5	28	59,65	13,54	5,97	0,67
	17	380	57,85	12,16	6,09	0,62
総計または平均	252	6804	50,65	15,10	6,47	0,78

それと近縁関係にある酸性火成岩と変成岩中に最も多く含まれている。

震旦系および下部古生界の発達している地域では、花崗岩および花崗片麻岩は、その後の地質年代の地層の発達地域に較べて遙かに広域にわたって露出している。Plate-forme の基盤をなす震旦紀、デボン紀中期の火成岩・変成岩およびその上に発達する削剝皮殻 (eroded crust) は、侵蝕作用を蒙り、多数の地域では堆積岩によつて平行不整合に覆われている。しかし堆積物の増大に伴つて、沈積盆地への長石および雲母の削剝産物の搬入は時代の経過にしたがつて徐

第2表 粘土中の重要成分の含有量

	平均試料の分析数	採取総試料数	SiO ₂	TiO ₂
Clark のデータによる粘土の平均組成 (meson の補正による)	78	不明	58,10	0,65
Ruskii Plate-forme の粘土	252	6804	50,65	0,78
Hougen ノールウェーの氷河期の粘土	96の分析値の平均	—	59,19	0,79

資 料

(平均試料重量%の分析のデータによる)

CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	CO ₂	n.n.n	総 計
0,55	2,26	3,96	0,76	0,11	1,17	5,65	100,26
0,83	2,17	4,82	0,49	0,15	0,70	5,03	99,93
12,82	3,40	3,95	0,79	0,16	11,13	6,21	99,94
8,99	4,99	4,42	0,69	0,15	7,37	5,38	100,25
11,18	4,08	4,15	0,75	0,15	9,52	5,85	100,04
3,94	2,80	4,29	0,67	0,14	3,62	5,52	100,09
5,79	3,89	3,55	0,60	0,50	5,61	6,29	99,91
10,92	2,55	3,54	0,58	0,16	8,77	4,80	100,33
11,87	6,42	4,15	0,64	6,62	7,99	5,13	99,73
10,94	3,33	3,65	0,59	1,47	8,48	4,89	100,23
8,69	3,58	3,61	0,59	1,05	7,23	5,50	100,10
2,99	1,53	2,61	0,53	0,53	2,47	9,73	100,35
5,64	4,16	5,00	0,73	0,11	5,59	4,61	100,28
4,32	2,92	3,87	0,63	0,31	4,12	7,04	100,32
7,85	4,31	3,43	1,51	1,12	6,18	3,85	100,23
17,30	5,93	2,50	1,32	0,95	14,90	4,36	99,85
12,43	7,29	2,42	1,22	0,31	12,83	3,89	100,55
13,24	5,81	2,71	1,31	1,60	11,52	3,99	100,08
12,94	5,67	2,71	1,30	1,55	11,34	3,90	100,18
8,47	3,79	3,51	0,73	0,97	7,25	5,56	100,16
7,41	3,57	3,68	0,72	0,78	6,44	5,56	100,11
10,10	3,68	2,29	1,03	0,09	7,42	3,73	100,63
1,57	1,97	3,12	1,45	0,09	1,87	6,53	100,15
2,25	1,89	3,36	2,24	0,03	1,58	6,44	99,81
8,75	2,01	3,05	1,33	0,19	6,25	5,50	99,93
4,78	1,98	3,12	1,40	0,15	3,69	6,03	99,83
1,65	1,92	2,64	1,34	0,24	0,94	6,85	99,98
3,46	1,55	1,98	1,15	0,01	11,33	3,08	99,68
5,59	1,80	2,42	1,28	0,17	4,40	5,60	99,99
5,81	2,12	2,76	1,31	0,15	4,42	5,58	100,04
7,25	2,16	2,32	1,18	0,32	5,69	5,67	100,01
4,93	3,07	3,15	0,74	0,00	4,06	4,31	100,09
6,57	2,42	2,56	1,05	0,22	5,21	5,27	100,02
7,19	3,31	3,49	0,81	0,63	6,10	5,58	100,11

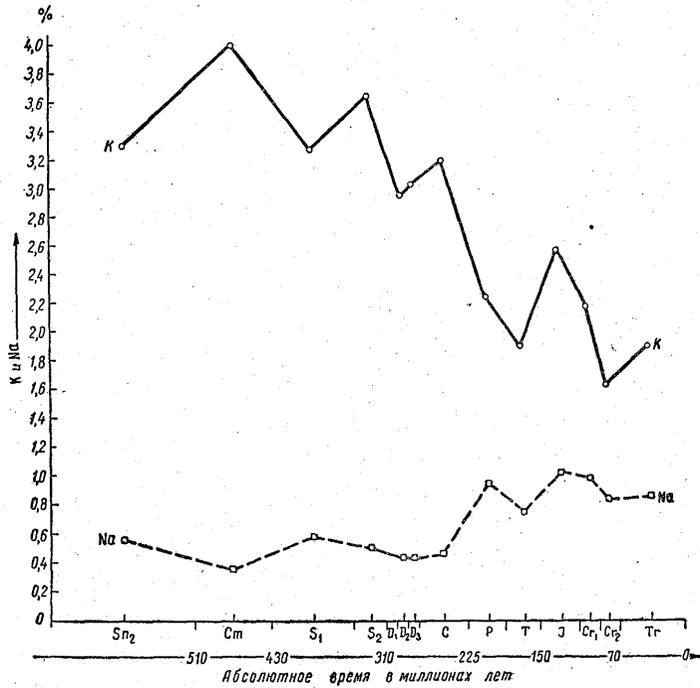
々に減少した。

この過程の跡は、粘土の鉱物組成の変化によつて捕捉される。現在粘土鉱物の決定数はきわめて少ないことを指摘しておくことが必要である。しかし現有のデータおよび粘土の呈色決定方法^{註2)}によれば、震旦紀・古生代晩期・およびデボン紀の粘土中において卓越せる粘土鉱物

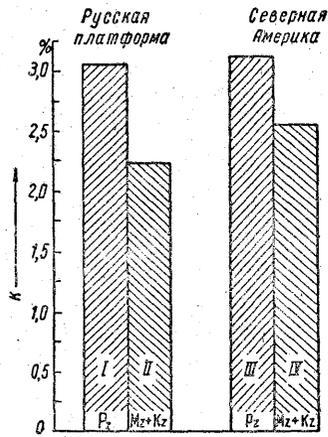
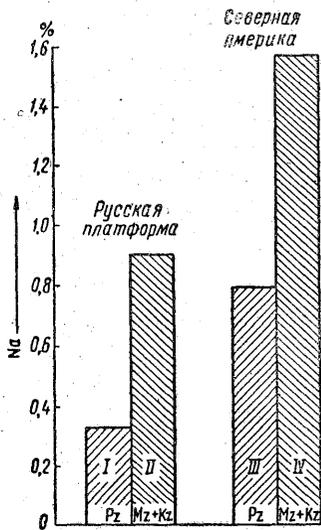
註 2) 白堊紀の堆積相の生成条件の指標としての海緑石と粘土鉱物について、地質調査所月報として発表予定

(Clark, Hougén, Vinogradov のデータ)

Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	CO ₂	SO ₃
15,40	6,47	2,44	3,11	1,30	3,24	2,63	0,64
15,10	6,47	3,31	7,19	0,81	3,49	6,10	0,63
15,82	7,34	3,30	3,07	2,05	3,93	—	—



第1図 Russkii Plate-forme 産粘土の K と Na との平均含有量の時間変移曲線
6804 採取試料から選択された 252 試料の平均分析値
絶対年代 100 万年単位



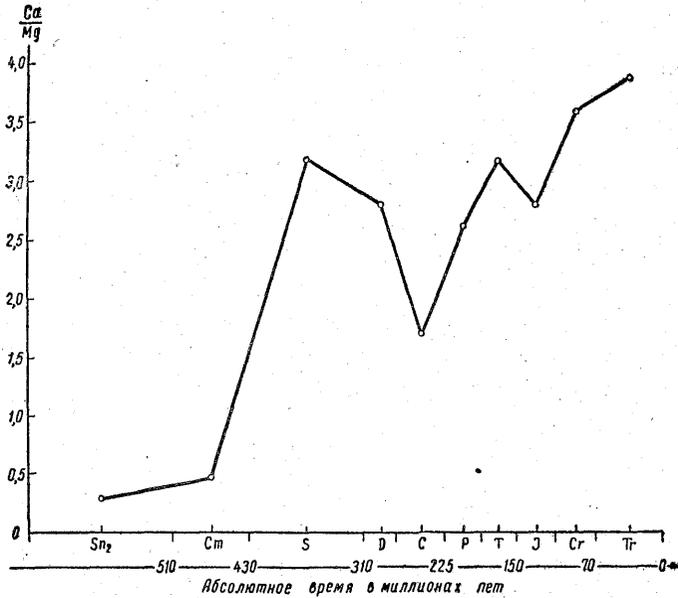
第2図 Russkii Plate-forme およびアメリカの粘土・頁岩中におけるKの分布

- I 総採取試料 5720 から選択された 203 試料の平均分析値
- II 総採取試料 1084 中の 49 平均分析値
- III 総採取試料 51 中から選択された 36 試料の平均分析値と 51 試料の平均試料の分析値
- IV 27 試料の平均分析値

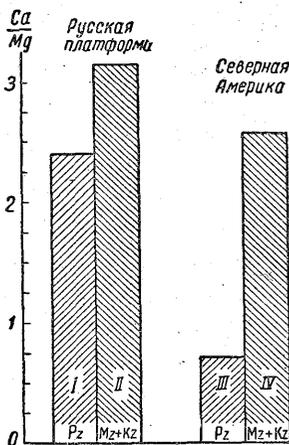
第3図 Russkii Plate-forme および北アメリカの粘土・頁岩中における Na の分布

は、Kに富む水雲母 (illite), 陸成相 (酸性) の kaolinite の混合物である。ときには、デボン紀の海成相中には少量の beidellite の混合物が認められる。石炭紀の粘土中では、水雲母とともに Kaolinite が卓越し、その存在量は、陸成堆積物中 (例えば 石炭層) で増大する。Montmorillonite の混合物も出現してくる (Lomot)。

南西部の瀕海地域 (バルト海) に近づく、モスコフ複向斜帯の石炭紀後期の堆積盆地では、様々な粘土鉱物が認められる。Zkhus は、多量の Kaolinite とともに水雲母が陸成、海成堆積物に混在しているのを確認している。二疊紀と三疊紀との粘土では、造岩鉱物はすでに2種の鉱物となつている。すなわち水雲母と Kaolinite となり、Montmorillonite と Beidellite とが主要な混在鉱物である。Crim (Clay mineralogy, Tronto 1953 年) によれば、アメリカ



第4図 Russkii Plate-forme の粘土中における Ca/Mg 比の時間的变化
 総採取試料 6804 から選択された 252 の平均試料の分析値
 絶対年代 100 万年単位



第5図 アメリカおよび Russkii Plate-forme の粘土および頁岩中における Ca/Mg
 I, II, III, IV は第2図と同じ

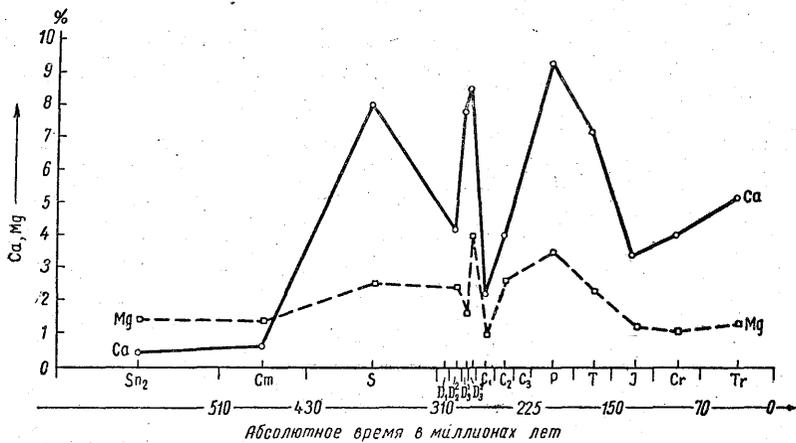
およびその他の諸国の白堊紀と新生代との粘土には montmorillonite が広域にわたって分布している。

カリ鉱物の含有量が時間の経過にしたがつて減少する粘土の鉱物学的組成の変化は、新しい粘土のK含有量の減少を理解する鍵となる (第3表, 第1図)。これらのデータを対比すると、Kの主要部分は粘土鉱物の結晶格子に結合していることが認められている。したがってKは、生成された瞬間から粘土層中に存在していたことが考えられる。粘土鉱物の構造中にはいらぬで、粘土物質に収着されるKは、2次的役割を演じている。Zkhus の実験によれば、あらゆる粘土鉱物におけるKの吸着力は、Ca, Mg, (Kaolinite—水雲母, beidellite-montmorillonite palygorskite 系に成長する) の吸着力と異なり、比較的低い。これらの事実、始生代以後の地質年代における粘土の化学組成の発展史を正しく示している。

次に粘土中の Al, Ti の時間的変移をみると、両元素の

第3表 重要化学元素の

系 統 階	試 料	採取総試料数	Si	Al	Fe	Ti
震旦系	17	765	27,17	9,70	5,85	0,53
カールゴシ	14	436	28,17	9,43	4,69	0,50
オンドラ	8	198	20,43	6,25	3,67	0,38
ゴシ	6	531	23,14	6,68	3,82	0,36
シ	14	729	21,58	6,43	3,73	0,37
下部古生界	45	1939	25,74	8,60	4,85	0,45
中部デボン系	41	822	23,30	8,60	4,68	0,48
Franskii 階	41	1433	21,69	7,68	4,89	0,61
Famerskii 階	9	253	18,67	5,91	3,60	0,34
上部デボン系	53	1721	21,16	7,42	4,61	0,56
下部石炭系	94	2543	22,09	7,94	4,64	0,52
中部石炭系	17	267	25,24	9,78	4,47	0,59
石炭系	19	241	23,80	8,52	4,63	0,42
Ubimskii 階	36	508	24,48	9,12	4,55	0,50
Kazanskii 階	7	91	23,30	7,49	5,10	0,36
Tatarskii 階	10	179	17,56	5,10	3,37	0,29
上部二畳系	9	408	20,17	5,76	3,84	0,33
二畳系	27	708	19,82	5,94	3,95	0,33
中部・上部古生界	28	730	20,05	6,06	4,04	0,34
古生界	158	3781	22,27	7,87	4,52	0,48
三畳系	203	5720	23,04	8,05	4,59	0,48
下部ジュラ系	4	121	23,68	7,79	4,28	0,42
中上部ジュラ系	3	17	27,23	9,01	5,15	0,48
下部ジュラ系	3	57	27,02	9,34	3,96	0,48
ジュラ系	7	180	23,76	8,07	4,18	0,42
下部白堊系	16	328	25,72	8,76	4,36	0,46
上白堊系	8	183	27,18	9,92	4,57	0,51
白堊系	4	72	24,04	5,55	3,22	0,30
中生代	12	255	26,18	8,46	4,13	0,44
中生代	32	704	25,64	8,52	4,26	0,45
中生代	12	352	26,65	6,13	4,29	0,35
中生代	5	28	27,84	7,16	4,11	0,40
中生代	17	380	27,00	6,43	4,26	0,37
総計または平均	252	6804	23,64	7,99	4,52	0,47



第6図 CaとMgの平均含有量の時間的変移
 総採取試料6804から選択された252の平均試料の分析値
 絶対年代100万年単位

存在量

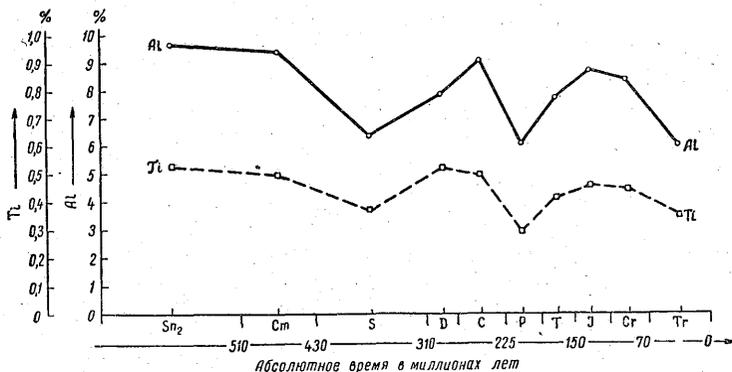
Ca	Mg	K	Na	硫酸塩	K/Na	Ca/Mg	SiO ₂ /Al ₂ O ₃
0,39	1,40	3,29	0,56	0,04	5,87	0,28	3,17
0,59	1,34	4,00	0,36	0,06	11,11	0,44	3,38
9,16	2,10	3,28	0,59	0,06	5,56	4,36	3,70
6,42	3,08	3,67	0,51	0,06	7,20	2,08	3,93
7,99	2,52	3,44	0,56	0,06	6,14	3,17	3,80
2,82	1,73	3,56	0,50	0,06	7,12	1,63	3,39
4,14	2,40	2,95	0,44	0,20	6,70	1,72	3,07
7,80	1,58	2,94	0,43	0,06	6,84	4,94	3,20
8,48	3,97	3,44	0,47	2,65	7,32	2,14	3,58
7,82	2,06	3,03	0,44	0,52	6,89	3,80	3,23
6,21	2,21	3,00	0,44	0,42	6,82	2,81	3,16
2,14	0,95	2,17	0,39	0,21	5,56	2,25	2,93
4,03	2,57	4,15	0,55	0,04	7,54	1,57	3,16
3,09	1,81	3,21	0,47	0,12	6,83	1,71	3,04
5,61	2,66	2,85	1,12	0,45	2,54	2,11	3,52
12,36	3,67	2,07	0,98	0,38	2,11	3,37	3,90
8,88	4,51	2,01	0,90	0,12	2,23	1,97	3,97
9,46	3,59	2,25	0,97	0,64	2,32	2,63	3,79
9,25	3,51	2,25	0,96	0,62	2,34	2,63	3,75
6,05	2,34	2,91	0,54	0,39	5,39	2,58	3,21
5,29	2,21	3,05	0,53	0,31	5,75	2,39	3,25
7,22	2,28	1,90	0,76	0,03	2,50	3,17	3,45
1,12	1,22	2,59	1,07	0,03	2,42	0,92	3,43
1,61	1,17	2,79	1,66	0,01	1,68	1,38	3,28
6,25	1,24	2,53	0,99	0,08	2,55	5,04	3,34
3,42	1,22	2,59	1,04	0,06	2,49	2,80	3,33
1,18	1,19	2,19	0,99	0,10	2,21	0,99	3,10
9,62	0,96	1,64	0,85	0,00	1,93	10,02	4,91
3,99	1,11	2,01	0,95	0,07	2,12	3,59	3,51
4,15	1,31	2,29	0,97	0,06	2,36	3,17	3,41
5,18	1,33	1,92	0,87	0,13	2,21	3,89	4,93
3,52	1,90	2,61	0,55	0,00	4,74	1,85	4,41
4,69	1,50	2,12	0,78	0,09	2,72	3,13	4,76
5,14	2,05	2,90	0,60	0,25	4,83	2,51	3,35

変移曲線にも平行性がみられ、後原生代の地質時代には、共生関係にあったことを示している。さらに両元素の存在量には震旦紀の粘土から第三紀粘土にかけて減少傾向がみられる。これに反して、SiO₂/Al₂O₃ 比の値はこの期間に約2倍の増大を示す。このような現象は、Al, Ti の存在量と SiO₂/Al₂O₃ の値との地域的変移についても認められる。すなわち 瀕海成相、陸成相の粘土は、Al と Ti に富むが、SiO₂/Al₂O₃ 比の値には低下が表われている。これに反して堆積盆地の中央部—古期瀕海地帯から離れた地域—では、Al, Ti の存在量は減少するが、SiO₂/Al₂O₃ 比の値は増大する（充分のデータがないが、陸地、瀕海地帯の粘土は Kaolinite に富むようである）。

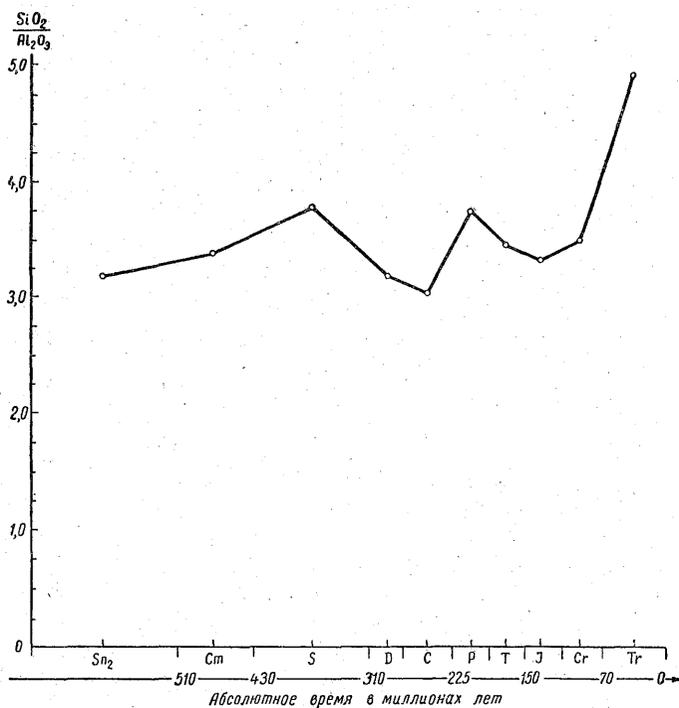
このような相関関係は2つの factor で説明できるであろう。すなわち Al と Ti は溶解度が低く、かつ移動性 (transportable movable) であつて、そのためにこの種元素は瀕海地帯に沈積・濃集するが、SiO₂ は溶解度が比較的高く、したがつて open sea に運ばれる。

ここで粘土中における Ti が問題となつてくる。塩基性岩石中の Ti (0.9%) は酸性火成岩 (0.23%) のほとんど4倍となつている。Plate-forme の粘土の平均 Ti の含有量は0.47%である(第3表参照)。この相関関係からみると、粘土中の Ti は、直接破壊されて濃集したものでなく、酸性火成岩質物質の搬入によるものであることが考えられる。花崗岩の削剝皮殻で

Рис. 3



第7図 Al と Ti の平均含有量の時間的変移
 総採取試料 6804 から選択された 252 の平均試料の分析値
 絶対年代 100 万年単位



第8図 SiO₂/Al₂O₃ 比の時間的変移
 総採取試料 6804 から選択された 252 の平均試料の分析値
 絶対年代 100 万年単位

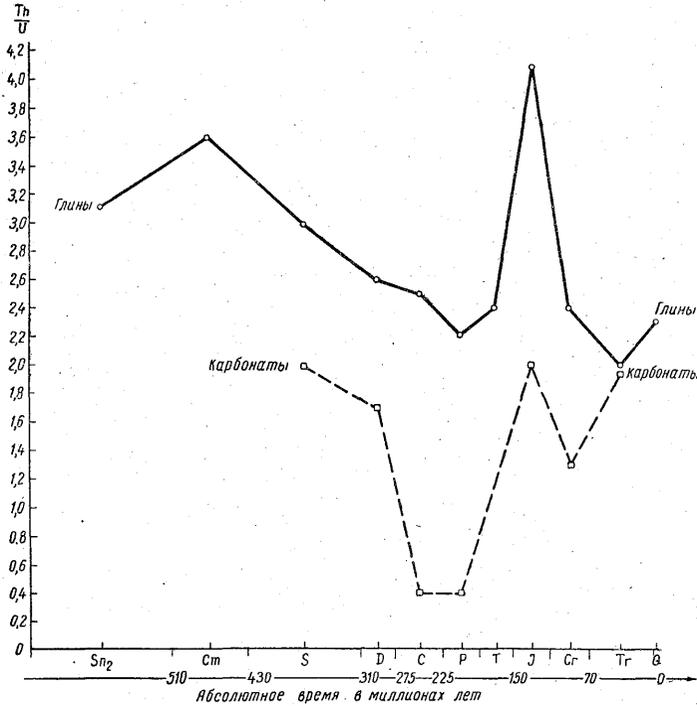
は、Ti で 2 倍に富化された残留産物が生じ、その後この種残留産物は搬出されて堆積盆地に濃集したはずである。しかしさらに信頼度の高い考え方としては、花崗岩よりもこの種元素で著しく enrich された Ti の 2 次源泉の存在である。この種源泉としては、粘土の 2 倍以上の Ti を含む塩基性岩石が考えられる。周知のように塩基性岩石は、Russkii plate-forme の古期地層—結晶片岩基盤地域—パルチック楕状地およびウラルに広範囲に分布している。花崗岩 2 と塩基性岩石 1 との割合で粉碎して求められた(混合)産物を粘土の平均組成とみなさすと、粘土中における Ti の平均含有量が求められる。すなわち

$$a = \frac{2b+c}{3} \%$$

a—求められる粘土の平均含有量, 0.23%に等しい花崗岩中 Ti の平均含有量 0.9%に等しい塩基性岩石の Ti の平均含有量

$$a = \frac{2 \cdot 0,23 + 0,90}{3} = 0,45 \%$$

したがって Russkii Plate-forme の粘土中で観察された Ti 含有量にきわめて近い値にあたっている。



第9図 粘土・炭酸塩質岩石における Th/U 比の時間的変移
 炭酸塩質岩石層から採取された総試料 5475 から選択された 128 試料の平均分析値と
 粘土層から採取された総試料 4765 から選択された試料の平均分析値
 絶対年代 100 万年単位

生成年代に基づく粘土組成の規則的変化は Mg, Ca についても認められる。Ca/Mg 比の値は上述の炭酸塩質岩石と同様に、古期堆積物から新しい時代の堆積物にかけて増大する傾向が明瞭にみられる。このような現象は、Russkii plate-forme だけでなく、北アメリカ大陸産の粘土についても認められる。

この種元素類の曲線は平行性を示し、粘土中では共生的に近い相互関係が認められる。Ca, Mg の主要な部分は、炭酸塩質混合物の粘土に濃集している。Ca, Mg に基づく粘土の富化(enrich)と貧化(impovertishment)には、規則的な交代性(時間的)が認められる。すなわち一般的にみてシルル紀から二疊紀にわたる時代は炭酸塩質物質の極大堆積期にあたりこの種岩石の粘土は平均して Ca と Mg とで富化(enrich)されている。しかし、Ca Mg, による極大富化は、純粋の石灰岩および白雲石の堆積、生成が Russkii plate-forme 地域の古海盆地帯で 2 次的役割を演じた地質時代に生成された粘土中にみられる。一方では純粋な炭酸塩質岩石の主堆積生成期に沈積した粘土中では、この種元素の貧化が認められる。

この種偏倚の傾向例は知られている。しかし多くの場合には、Ca と Mg は、純粋な炭酸塩質岩石の主堆積生成期ばかりでなく、常に海盆を覆う海水中に多量に含まれている。陸成堆

積物の生成期には、大きな屑砕物質が生じ、そのために純粹の炭酸塩堆積物の沈積があたかも押えられていたような状態を示していたことが考えられる。Ca—Mg が粘土に捕捉されると、炭酸塩質粘土型の混合岩石型(石灰質粘土・粘土質泥灰岩・泥灰岩等)が生成される。この種岩石は、シルル紀・デボン紀後期・二疊紀後期・三疊紀・第三紀の堆積物中に標式的に発達している。

plate-forme の北西部には震旦紀、カンブリア紀の沈積盆地が島状に存在している。この海盆地域の堆積物は、實際上炭酸塩質岩石を欠き、粘土中にも、多量の Ca, Mg の混合物が存在しない。この事実は、上述の法則性と矛盾するように思われる。しかしこの偏倚傾向は局地的現象と考えられる根拠がある。すでに Redkino には、白雲石の薄層が初めて出現し、その厚さはモスコウ地域に向かつて漸増し、南ウラルでは最大に達している。したがって古生代海に搬入された Ca と Mg とは、現在明らかにされていない原因によつて、北西方の瀕海地域に沈積しないで、さらに南東部に移動し、堆積盆地の中央部および東部地帯に濃集したことが考えられる。

上述のように炭酸塩質岩石中の Th の大部分は不溶残渣中に含まれている。粘土および炭酸塩質岩石中における Th/U 比の値の時間的変移曲線は相互に平行性を示す。しかし U の存在量は僅かな変動を表わすが、Th は著しい変動を示す。したがって Th/U 比の値の変化は、主として Th の含有量の変化によるものである。Th は震旦紀、カンブリア紀およびジュラ紀に極大値に達している。すなわちこの地質時代は、地殻の削剝によつて生じた多量の侵蝕産物が、海進期に先立つ海退期に長期間にわたつて堆積地帯に沈積した時代にあたっている。

Ni, Co, Cu の含有量は、地層層序の下位から上位に向かうにしたがつて、ほとんど $\frac{1}{2}$ に減少している。このような減少傾向は、鉄とケイ酸マグネシウム含有量の減少と平行性を示している。