３．２．５．３　構成岩石モデルの構築

目　次

(1)　業務の内容
(a) 業務題目
(b) 担当者
(c) 業務の目的
(d) ８か年の年次実施計画
1)　平成２５年度
2)　平成２６年度
3)　平成２７年度
4)　平成２８年度
5)　平成２９年度
6)　平成３０年度
7)　平成３１年度
8)　平成３２年度
(e) 平成２５年度業務目的

(2)　平成２５年度の成果
(a) 業務の要約
(b) 業務の実施方法
(c) 業務の成果
1) 弾性波速度およびレオロジーに関する既存データの整理
2) 日本海東縁周辺部の地殻構成岩石に関する初期モデル
3) 万能試験機の導入
(d) 結論ならびに今後の課題
(e) 引用文献
(f) 成果の論文発表・口頭発表等
(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

(3)　平成２６年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

2.5.3　構成岩石モデルの構築

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
横浜国立大学大学院環境情報研究院	教授	石川正弘

(c) 業務の目的

天然および焼結資料を基に高温高圧下での弾性波速度を測定し、観測された弾性波速度と比較し日本海および沿岸域の地殻およびマントルの構成岩石モデルを作成する。高温での変形試験を行い、レオロジーモデルを作成し、断層面の下限について基礎資料を得る。

(d) ８か年の年次実施計画

1) 平成２５年度：

岩石と鉱物の弾性波速度およびレオロジーに関する既存データを整理する。得られた弾性波速度に関する基礎データに基づき、日本海東縁周辺部の地殻構成岩石に関する初期モデル（プロトタイプ）を作成する。翌年度以降の高温変形実験にむけて万能試験機を導入する。

2) 平成２６年度：

岩石と鉱物の弾性波速度およびレオロジーに関する既存データを整理する。主要造岩鉱物の多結晶焼結体を作成する。岩石の弾性波速度測定実験を行なう。万能試験機による高温変形実験の準備段階として予備実験を行う。

3) 平成２７年度：

地殻深部を構成する岩石とその主要造岩鉱物に関して、平成２６年度に引き続き、弾性波速度測定実験を実施する。それと並行して、主要造岩鉱物の多結晶体の焼結実験を行なう。焼結実験対象については、前年度までの弾性波速度測定実験の進捗状況も踏まえて決定する。多結晶焼結体の高温変形実験を行う。また、地殻深部やマントル起源の実験試料採取のために地質調査を実施する。

4) 平成２８年度：

地殻深部を構成する岩石とその主要造岩鉱物に関して、平成２７年度に引き続き、弾性波速度測定実験を実施する。それと並行して、多結晶体の焼結実験を行なう。多結晶焼結体の高温変形実験を行う。また、地殻深部やマントル起源の実験試料採取のために地質調査を実施する。弾性波速度測定の岩石試料および焼結実験対象については、前年度までの弾性波速度測定結果および、多結晶体の焼結実験の進捗状況も踏まえて決定する。また、平成２６年度から平成２８年度に得られた実験結果を加えて、弾性波速度およびレオロジ

ーに関する既存データを再度整理する。他のサブテーマ等で得られた日本海および日本海東縁陸上の地殻構造探査結果を踏まえて地殻構成岩石モデルを更新する。

5）平成２９年度：
地殻深部を構成する岩石の弾性波速度測定実験、主要造岩鉱物の多結晶体の焼結実験、多結晶焼結体の高温変形実験を、引き続き実施する。焼結実験対象については、前年度までの実験の進捗状況も踏まえて決定する。また、地殻深部やマントル起源の実験試料採取のために地質調査を実施する。

6）平成３０年度：
地殻深部を構成する岩石の弾性波速度測定実験、主要造岩鉱物の多結晶体の焼結実験、多結晶焼結体の高温変形実験を、引き続き実施する。焼結実験対象については、前年度までの実験の進捗状況も踏まえて決定する。また、地殻深部やマントル起源の実験試料採取のために地質調査を実施する。

7）平成３１年度：
地殻深部を構成する岩石の弾性波速度測定実験、主要造岩鉱物の多結晶体の焼結実験、多結晶焼結体の高温変形実験を、引き続き実施する。焼結実験対象については、前年度までの実験の進捗状況も踏まえて決定する。また、地殻深部やマントル起源の実験試料採取のために地質調査を実施する。また、平成２９年度から平成３１年度に得られた弾性波速度実験結果を加えて、岩石と鉱物の弾性波速度に関する既存データを再度整理する。最終年度前年であるため、地殻構成岩石モデルを更新する。

8）平成３２年度：
平成３０年度に引き続き、地殻深部を構成する岩石の弾性波速度測定実験、主要造岩鉱物の多結晶体の焼結実験、多結晶焼結体の高温変形実験を実施する。また、これまで８年間の弾性波速度測定実験で得られた弾性波速度データと、他のサブテーマ等で得られた地殻構造探査結果を踏まえて、地殻マントルの構成岩石モデルをとりまとめる。

(e) 平成２５年度業務目的
岩石と鉱物の弾性波速度およびレオロジーに関する既存データを整理する。得られた弾性波速度に関する基礎データに基づき、日本海東縁周辺部の地殻構成岩石に関する初期モデル（プロトタイプ）を作成する。翌年度以降の高温変形実験にむけて万能試験機を導入する。

(2) 平成２５年度の成果

(a) 業務の要約
1）岩石と鉱物の弾性波速度およびレオロジーに関する既存データを整理した。

2) 日本海東縁周辺部の地殻構成岩石に関する初期モデル（プロトタイプ）を作成した。
3) 翌年度以降の高温変形実験にむけて万能試験機を導入した。

(b) 業務の成果

1) 弾性波速度およびレオロジーに関する既存データを整理

既存の岩石鉱物の弾性波速度およびレオロジーに関する論文の収集およびリスト作成を行った（図 1、2)。岩石の弾性波速度収集データに関しては日本海東縁周辺部の地殻構成岩石に関する初期モデルを作成する際に一部を用いた。また、岩石レオロジーの収集データに関しては日本海東縁周辺部の地殻構成岩石初期モデルに基づき地震発生層の下限を検討する際に一部を用いた。

図１　岩石鉱物のレオロジーに関する既存論文の収集

4	鉱物(岩石)	産地／天然試料or合成試料	$log_{10}A$	LogA(bars^-n s^-1)	A_0(MPa^-n s^-1)	L_A(MPa^-n s^-1)	A(kbar^-n s^-1)	A (s^-1)	r	n	m	E* (KJ/mol)	E* (Kcal/mol)	V* (10^-6 m³/mol)	V* (10^-6 cm³/mol)	P (GPa)	T (K)	T(℃)	Strain Rate (s^-1)		L (μm)	変形試験機	水、メルトなど	Reference
5	***Quartz***																							
6	Quartzite	Simposon quartzite	-10.1		7.90x10^-11					5.7		244				0.6-1.0	773 - 1293	500 - 1020						Heard and Carter (1968)
7	Quartz				5.82x10^-7					3.64±0.18		31.6±3.5				0.5	523 - 773	250 - 500				Griggs-type		Balderman (1974)
8	Quartzite	Simpson quartzite	-10.1		7.94x10^-11					5.7±0.8		243±21				0.003	303 - 1073	30 - 800					"dry"	Heard (1976)
9	Quartzite	Canyon Creek quartzite	-1.4		3.98x10^-2					2.6±0.4		231±28				0.003	303 - 1073	30 - 800					"wet"	Heard (1976)
10	Quartzite	Simpson quartzite	-11.2		6.7x10^-12					6.5±0.8		266±23				1.0	473 - 1073	200 - 800					"dry" air	Parrish et al. (1976)
11	Quartzite	Canyon Creek quartzite	-1.4		4.44x10^-2					2.6±0.4		230±29				1.0	473 - 1073	200 - 800					"wet"	Parrish et al. (1976)
12	Quartz												38.9±2.1			0.014	676 - 1037	403 - 764						Kirby (1977)
13	Quartz												14.3±4.7			0.014	676 - 1037	403 - 764						Kirby (1977)
14	Quartzite	Simpson quartzite	-5.3		5x10^-6					3		190											"dry" air	Brace and Kohlstedt (1980)
15	Quartzite	Heavitree quartzite	-2.9		1.26x10^-3					2.0		168				0.35-1.62							"dry" air	Shelton and Tullis (1981)
16	Quartzite	Heavitree quartzite								~1		-168											"wet"	Shelton and Tullis (1981)
17	Quartzite	Heavitree quartzite	4.2		1.59x10^4					2.8		153±21											"dry" vacuum	Jaoul et al. (1981)
18	Quartzite	Heavitree quartzite										~153±21											"dry" air	Jaoul et al. (1981)
19	Quartzite	Heavitree quartzite	-1.4		3.74x10^-2					1.2		153±21											"wet"	Jaoul et al. (1981)
20	Quartzite	Heavitree quartzite	-5.4		~4x10^-6					~4		300±20											"dry" vacuum	Kronenberg (1983)
21	Quartzite	Heavitree quartzite	-5.3		~5x10^-6					2.9±0.3 =>3.2±0.02		170±20 => 220±20											"dry" air	Kronenberg (1983)
22	Quartzite	Heavitree quartzite	-5.7		~2.18x10^-6					2.7±0.3		120±10											"wet"	Kronenberg (1983)
23	Quartzite	Black Hills quartzite								4		300				0.35-1.62					1.2-2.11	Griggs-type	vacuum-heated sample	Kronenberg and Tullis (1984)
24	Quartzite	Black Hills quartzite								2.6		130										Griggs-type	water-added sample	Kronenberg and Tullis (1984)
25	Quartzite	Heavitree quartzite	-5.3		5.00x10^-6					3.2±0.02		220±20				0.35-1.59	973 - 1473	700 - 1200						Kronenberg and Tullis (1984)
26	Quartzite	Heavitree quartzite	-5.5		3.44x10^-6					2.8±0.2		184±6	44			1.5	1073 - 1373	800 - 1100					"dry" vacuum	Jaoul et al. (1984)
27	Quartzite	Heavitree quartzite	-3.5		3.11x10^-4					2.3±0.1		171±8	41			1.5	1073 - 1373	800 - 1100					as-is	Jaoul et al. (1984)
28	Quartzite	Heavitree quartzite	-2.3		5.26x10^-3					1.4±0.05		146±4	35			1.5	1073 - 1373	800 - 1100					water added 0.28 wt.%	Jaoul et al. (1984)
29	Quartzite	Heavitree quartzite	-2.5		2.91x10^-3					1.8±0.2		151	36			1.5	1073 - 1373	800 - 1100					water added 0.39 wt.%	Jaoul et al. (1984)
30	Quartzite	Simpson quartzite	-6.9		1.16x10^-7					2.72±0.19		134±32				1.0-1.25	1023 - 1173	750 - 900				Griggs-type	"dry" air 642±47 H / 10^6 Si	Koch et al. (1989)
31	Quartzite	Simpson quartzite	-3.9		1.20x10^-4					2.48±0.11		168±19				1.0-1.25	1023 - 1173	750 - 900				Griggs-type	"wet"	Koch et al. (1989)
32	Quartzite	Silica gel	-7.2		6.50x10^-8					2.2		148				0.3	1200 - 1300	927 - 1027						Paterson and Luan (1990)
33	Quartzite	Silica acid	-9.4		4.00x10^-10					3.9		152				0.3	1100 - 1300	827 - 1027						Paterson and Luan (1990)
34	Quartzite									2.3±0.3		148±46				0.3	1200 - 1300	927 - 1027					3000 H/10^6Si	Luan and Paterson (1992)
35	Quartz	Black Hills quartzite, β-Quartz	-4.0		1.1x10^-4				1	4.0±0.9	-	223±56		-		1.5	1173 - 1373	900 - 1100			100	liquid-Griggs	メルトなし	Gleason and Tullis (1995)
36	Quartz	Black Hills quartzite, β-Quartz	-7.7		1.8x10^-8					4.0±0.9		137±34				1.5	1173 - 1373	900 - 1100				liquid-Griggs	メルトあり (1-2% melt)	Gleason and Tullis (1995)
37	Quartz	Black Hills quartzite, β-Quartz	-						2	-	-	-		-		0.71-1.72	1173	900			100	liquid-Griggs	fO2の効果なし	Post et al. (1996)
38	Quartz		-11.2±0.6							4	1	135±15											"wet"	Hirth et al. (2001)
39	Quartz	Brazilian quartz, β-Quartz	-0.4±2.1							1.0±0.14	-2.0±0.75	220±55				0.3	1273 - 1473	1000 - 1200					"wet"	Rutter and Brodie (2004a)
40	Quartz	Brazilian quartz, β-Quartz	-2.45		3.54x10^-3					2.97±0.29		242±24				0.3	1373 - 1473	1100 - 1200			0.4	Paterson	"wet"	Rutter and Brodie (2004b)
41	Quartzite		0.40		1.15x10^-9					4.6		117				0.3	773 - 1273	500 - 1000						Mainprice and Paterson (2005)
42	Quartzite	Heavitree quartzite								2.8±0.2		185±6				1.5	973 - 1323	700 - 1050					"dry" vacuum at 685℃ for 4 days	Mainprice and Jaoul (2009)
43	Quartzite	Heavitree quartzite								3.3±0.4						1.5	1073 - 1163	800 - 890					"dry" vacuum at 1010℃ for 5.5h	Mainprice and Jaoul (2009)
44	Quartzite	Heavitree quartzite								3.4±0.5		205±35				1.5	1073 - 1173	800 - 900					Na-doped "dry" vacuum plus sodium	Mainprice and Jaoul (2009)
45	Quartzite	Heavitree quartzite								3.1±0.2		245±45				1.5	1073 - 1163	800 - 890					Na-doped "dry" vacuum plus sodium	Mainprice and Jaoul (2009)
46	Quartzite	Heavitree quartzite														1.5	1173 - 273	900					0.42 wt.% water (water-added)	Mainprice and Jaoul (2009)
47	Quartzite	Heavitree quartzite								1.8±0.2		151				1.5	1073 - 273	800					0.39 wt.% water (water-added)	Mainprice and Jaoul (2009)
48	Quartzite	Heavitree quartzite								1.4±0.1		147±4				1.5	973 - 1273	700 - 1000					0.28 wt.% water (water-added)	Mainprice and Jaoul (2009)
49	Quartzite	Heavitree quartzite								2.3±0.1		173±6				1.5	923 - 1173	650 - 900					0.16 wt.% water (as-is)	Mainprice and Jaoul (2009)
50	Quartzite	Heavitree quartzite								2.4±0.4		164±12				1.5	1123 - 1323	850 - 1050					0.18 wt.% water (as-is)	Mainprice and Jaoul (2009)
51	***Coesite***																							
52	Coesite									3±1		275±50				3.1-3.7	973 - 1433	700 - 1160	6x10^-7	1x10^-3		Griggs-type	800 ppm H/Si	Renner et al. (2001)
53	***Plagioclase: Anorthite***																							
54	Anorthite	合成試料								1.0±0.1	-2.9±0.2	585±45				0.0001	1373 - 1573	1100 - 1300			11-60	dead-load	"dry" (8960 ppm H/Si)	Dimanov et al. (1999)
55	Anorthite	合成試料								1.0±0.1	-2.9±0.2	377±38				0.0001	1373 - 1573	1100 - 1300			11-60	dead-load	"wet" (~14000±2000 ppm H/Si)	Dimanov et al. (1999)
56	Anorthite	合成試料 An99	2.6						-	3	-	356		-		0.3	1270 - 1480	997 - 1207			2.7-3.4	Paterson	"wet" (~11,500 ppm H/Si)	Rybacki and Dresen (2000)
57	Anorthite	合成試料 An99	13						-	3	-	648		-		0.3	1370 - 1480	1097 - 1207			2.7-3.4	Paterson	"dry"(~640 ppm H/Si)	Rybacki and Dresen (2000)
58	Anorthite	合成試料 An99	1.7						-	1	-3	170		-		0.3	1180 - 1480	907 - 1207			2.7-3.4	Paterson	"wet"(~11,500ppm H/Si)	Rybacki and Dresen (2000)
59	Anorthite	合成試料 An99	2.6						-	1	-3	467		-		0.3	1370 - 1480	1097 - 1207			2.7-3.4	Paterson	"dry"(~640 ppm H/Si)	Rybacki and Dresen (2000)
60	Anorthite	合成試料	-14.941							1	-3	383±21				0.01	1423	1150			<4		Melt <1%	Dimanov et al. (2003)
61	Anorthite	合成試料	-15.359							1	-3	362±29				0.01	1423	1150			<4		Melt <1%	Dimanov et al. (2003)
62	Anorthite	合成試料 An99	12.1						0	1	-3	460		2E-05	24	0.1-0.45	1398 - 1473	1125 - 1200			3	Paterson	"dry"(380±80 ppm H/Si)	Rybacki et al. (2006)
63	Anorthite	合成試料 An99	-0.7						1	1	-	159		4E-05	38	0.1-0.45	1273 - 1423	1000 - 1150			3	Paterson	"wet"(3100±500 ppm H/Si)	Rybacki et al. (2006)
64	Anorthite	合成試料 An99	12.7						0	3	0	641		2E-05	24	0.1-0.45	1398 - 1473	1125 - 1200			3	Paterson	"dry"(380±80 ppm H/Si)	Rybacki et al. (2006)
65	Anorthite	合成試料 An99	0.2						1	3	0	345		4E-05	38	0.1-0.45	1273 - 1423	1000 - 1150			3	Paterson	"wet"(3100±500 ppm H/Si)	Rybacki et al. (2006)
66	Anorthite	合成試料														0.4	1223 - 1473	950 - 1200			4			Rybacki et al. (2008)
67	Anorthite	合成試料 An99								0.9±0.3		202±47				0.1-0.4	1223 - 1473	950 - 1200			4	Paterson		Rybacki et al. (2010)
68	***Plagioclase: Labradorite***																							
69	Labradorite	An60	-1.5±0.5							3	0	235±13												Dimanov et al. (unpublished)
70	Labradorite	An60	1.1±0.6							1	3	153±15												Dimanov et al. (unpublished)
70	Labradorite	An60	1.1±0.6							1	3	153±15												Dimanov et al. (unpublished)
71	Labradorite	An60Ab40	-15.0		1.09x10^-15					1±0.1	-2.7±0.3	338±27					1323 - 1523	1050 - 1250			12-16	dead-load	with melt <1 to 10±2 vol %	Dimanov et al. (1998)
72	Labradorite	An60Ab40 (HIP1)						7.46				412±38				0.002-0.0(	1373 - 1638	1100 - 1365			<16	dead-load	~15000 ppm H/Si, up to 2 vol.% Si-r	Dimanov et al. (2000)
73	Labradorite	An60Ab40 (HIP2)						7.42				393±42				0.002-0.0(	1373 - 1638	1100 - 1365			<16	dead-load	~15000 ppm H/Si, up to 2 vol.% Si-r	Dimanov et al. (2000)
74	Labradorite	An60Ab40 (HIP3)						8.77				425±32				0.002-0.0(	1373 - 1638	1100 - 1365			<16	dead-load	~15000 ppm H/Si, 2-3 vol.% Si-rich	Dimanov et al. (2000)
75	***Plagioclase: Albite***																							
76	Albite	Albite100	3.4±1.0							3	0	332±23												Offerhaus et al. (2001)
77	Albite	Albite100	3.9±1.1							1	-3	193±25												Offerhaus et al. (2001)
78	***Diopside***																							
79	Diopside	Sleaford Bay, South Australia ([illegible])	-260		10^-260					83±16		220±40				0.17-1.99	673 - 1373	400 - 1100				Griggs-type		Kirby and Kronenberg (1984)
80	Diopside	Sleaford Bay, South Australia ([illegible])	-5		10^-5					5.3±1.1		380±30				0.17-1.99	673 - 1373	400 - 1100				Griggs-type	"dry" vacuum	Kirby and Kronenberg (1984)
81	Diopside	Sleaford Bay, South Australia			14.8±1*10^4					3.3±0.5		490±80				0.3		900 - 1271				Paterson-Gas	0, 0.5, 1% H2O added	Boland and Tullis (1986)
82	Diopside	Ca0.969Na0.025K0.001Mg0.970Fe0.036Cr0.13Al0.007Mn0.001Ni0.001Si0.980O6				8.5±2.4				8.07±0.25		742±31					1410	1137				dead-load		Raterron and Jaoul (1991)
83	Diopside	Ca0.969Na0.025K0.001Mg0.970Fe0.036Cr0.13Al0.007Mn0.001Ni0.001Si0.980O6				-7.8±2.4				6.46±0.42		442±29					1403	1130				dead-load		Raterron and Jaoul (1991)
84	Diopside	Ca0.969Na0.025K0.001Mg0.970Fe0.036Cr0.13Al0.007Mn0.001Ni0.001Si0.980O6				-51.0±3.3				8.80±0.91		85±29					1410	1137				dead-load		Raterron and Jaoul (1991)
85	Diopside	Ca0.969Na0.025K0.001Mg0.970Fe0.036Cr0.13Al0.007Mn0.001Ni0.001Si0.980O6				-39.5±1.9				6.01±0.40		48±13					1403	1130				dead-load		Raterron and Jaoul (1991)
86	Diopside	Sleaford Bay, South Australia 合成試料 ([illegible])	9.8±0.5						-	4.7±0.2	-	760±40		-		0.3-0.43	1373 - 1523	1100 - 1250			5.2-330	Paterson	"dry"(<10 ppm H/Si)	Bystricky and Mackwell (2001)
87	Diopside	Sleaford Bay, South Australia 合成試料 ([illegible])	15.1±0.7						-	1	-3	560±30		-		0.3-0.43	1373 - 1523	1100 - 1250			5.2-330	Paterson	"dry"(<10 ppm H/Si)	Bystricky and Mackwell (2001)
88	Diopside		-9.504							1	-3	558±39				0.005-0.2(	1373 - 1473	1100 - 1200			3.4	dead-load	Melt <2%	Dimanov et al. (2003)
89	Diopside		-12.787							1	-3	468±28				0.005-0.2(	1373 - 1473	1100 - 1200			3.4	dead-load	メルトなし	Dimanov et al. (2003)
90	Diopside		-17.008							1	-3	364±17				0.005-0.2(	1373 - 1473	1100 - 1200			3.4	dead-load	メルトなし	Dimanov et al. (2003)
91	Diopside		-22.726							5	-	719±34				0.005-0.2(	1373 - 1473	1100 - 1200			3.4	dead-load	メルトなし	Dimanov et al. (2003)
92	Diopside	Sleaford Bay, South Australia 合成試料 ([illegible])	7.9±1.0						1.4±0.2	1	-3	340±30		14±6		0.1-0.3	1321 - 1421	1048 - 1148			7.7-9.2	Paterson	"wet"(98-216 ppm H/Si)	Hier-Majumder et al. (2005)
93	Diopside	Sleaford Bay, South Australia 合成試料 ([illegible])	25.3±0.8							1	-3	760±20				0.1-0.3	1398 - 1508	1125 - 1235			6.7-10.5	Paterson	"dry"	Hier-Majumder et al. (2005)
94	Diopside	([illegible])	4.5		3.19*10^4					1	-3	528±42				0.3	1323 - 1523	1050 - 1250			<35	Paterson	"dry" (0.004±0.001 wt.% H2O)	Dimanov and Dresen (2005)
95	Diopside	([illegible])	-0.9		1.26*10^-1					1	-3	345±25				0.3	1323 - 1523	1050 - 1250			<25	Paterson	"wet" (0.05±0.02 wt.% H2O)	Dimanov and Dresen (2005)
96	Diopside	([illegible])	-1.0		1.08*10^-1					1	-3	349±23				0.3	1323 - 1523	1050 - 1250			<35	Paterson	"wet" (0.05±0.02 wt.% H2O)	Dimanov and Dresen (2005)
97	Diopside	([illegible])	-2.5		3.07*10^-3					1	-3	318±26				0.3	1323 - 1523	1050 - 1250			<45	Paterson	"wet" (0.05±0.02 wt.% H2O)	Dimanov and Dresen (2005)
98	Diopside	([illegible])	-27.5		3.01*10^-28					5.47±0.1[illegible]	0	691±46				0.3	1323 - 1523	1050 - 1250			<25	Paterson	"dry" (0.004±0.001 wt.% H2O)	Dimanov and Dresen (2005)
99	Diopside	([illegible])	-32.3		5.16*10^-33					5.52±0.0[illegible]	0	534±32				0.3	1323 - 1523	1050 - 1250			<25	Paterson	"wet" (0.05±0.02 wt.% H2O)	Dimanov and Dresen (2005)
100	Diopside	Sleaford Bay, South Australia 合成試料 ([illegible])	6.7±0.1						3±0.6	2.7±0.3	-	630±40		-	-	0.15-0.30	1373 - 1473	1100 - 1200			~500	Paterson	"wet" (saturated)	Chen et al. (2006)
101	***Omphacite***																							
102	Omphacite	Di[illegible]Jd[illegible], space group C2/c, Bixiling garnet peridotite-eclogite complex, Dabie Mountains, central China	-2							3.5±0.2	0	310±50				3	1300 - 1500	1027 - 1227			~50	Griggs-type	"wet"	Zhang et al. (2006)
103	Omphacite	Di_{100} ([illegible])				-29.6±4.8				8.1±1.5		391±79				2.5	1173 - 1373	900 - 1100				Griggs-type	10^-2 H/Si	Moghadam et al. (2010)
104	Omphacite	Di[illegible]Jd[illegible] ([illegible])				-10.3±3.2				5.5±1.9		414±136				2.5	1173 - 1373	900 - 1100				Griggs-type	10^-2 H/Si	Moghadam et al. (2010)
105	Omphacite	Di[illegible]Jd[illegible] ([illegible])				-4.7±1.1				3.5±0.2		323±18				2.5	1173 - 1373	900 - 1100				Griggs-type	10^-2 H/Si	Moghadam et al. (2010)
106	Omphacite	Di[illegible]Jd[illegible] ([illegible])				4.3±3.6				3.0±0.5		281±63				2.5	1173 - 1373	900 - 1100				Griggs-type	10^-2 H/Si	Moghadam et al. (2010)
107	***Jadeite***																							
108	Omphacite	Jd_{100} ([illegible])				3.5±6.3				4.2±0.8		413±79				2.5	1173 - 1373	900 - 1100				Griggs-type	10^-2 H/Si	Moghadam et al. (2010)
109	Jadeite	$NaAlSi_2O_6$	-3.3±2.0			-3.3±2.0				3.7±0.4	0	326±27				2.5	1073 - 1373	800 - 1100			8-10	solid-Griggs	"wet"	Orzol et al. (2006)
110	***Orthopyroxene: Enstatite***																							
111	Enstatite									2.4		290				1.5	1073 - 1773	800 - 1500				solid-Griggs	"dry"	Raleigh et al. (1971)
112	Enstatite	([illegible])SiO_3	-2.2						-	2.8	-	270	65	-		1	1273 - 1673	1000 - 1400			~1000	solid-Griggs	"wet"(滑石からの水)	Ross and Nielsen (1978)
113	Enstatite	Embilipitiya, Sri Lanka								3.8±0.5		820±60				0.00001	1423 - 1633	1350 - 1450				1-atm		Mackwell (1991)
114	Enstatite	合成試料(([illegible])Si2O6, ([illegible])Si2O6), 水の量は不明	8.8						-	2.9	-	600				0.45	1473 - 1523	1200 - 1250			~10	Paterson	"dry"	Lawlis (1998)
115	Enstatite	Kilosa, Tanzania, single crystal ([illegible])SiO_3	-9.5		10^-9.5					4.2		114				1.3	973 - 1373	700 - 1100				Griggs-type	"water-poor" (<800 ppm H/Si)	Ohuchi et al. (2011)
	Enstatite	Kilosa, Tanzania, single crystal ([illegible])SiO_3	8.9		10^8.9					3.0		459				1.3	973 - 1373	700 - 1100				Griggs-type	"water-poor" (<800 ppm H/Si)	Ohuchi et al. (2011)

図２　レオロジーに関する既存データの整理（一部抜粋）

2) 日本海東縁周辺部の地殻構成岩石に関する初期モデル

東北日本では大規模な地殻構造探査が行われている[1)]。先行研究[2)]では、一の目潟捕獲岩のＰ波速度を最大圧力 1.0 GPa・最高温度 400 ℃で測定し、 Ｐ波速度構造[1)]との比較から下部地殻が角閃石はんれい岩や角閃岩等で構成されていることを推測した。さらに先行研究[3)]は最大圧力 1.0 GPa・最高温度 800 ℃で捕獲岩のＰ波速度とＳ波速度を測定し、地震波トモグラフィー[4)]との比較から、より詳細な下部地殻構成岩石の解釈を行った。その結果、日本海沿岸の下部地殻は角閃石輝石はんれい岩、奥羽脊梁山脈および周辺部は角

閃石はんれい岩から構成されると推定した。

石川他（印刷中）[5]では、防災科学技術研究所の日本列島下の三次元地震波速度構造[6]を用いて、鉱物の弾性波速度との比較を行い、下部地殻マントル構成岩石モデルを検討した。検討範囲は、先行研究[3]で対象とした北緯４０度～３９度と同範囲である。図３では縦軸をP波速度、横軸をS波速度とした座標上に、深度25kmの地震波速度領域を示した。深さ２５km（下部地殻）の地震波速度領域は奥羽脊梁山脈および周辺部、日本海東縁に区分した。はんれい岩類の主要構成鉱物である斜長石、角閃石、単斜輝石、斜方輝石のP波速度とS波速度を同様に図３に示した。奥羽脊梁山脈および周辺部は日本海東縁沿とは分布の傾向が異なり、これら地域よりも高いVp/Vsで特徴づけられる。奥羽脊梁山脈および周辺部の地震波速度領域の大半はホルンブレンドと斜長石を結ぶ領域周辺に分布しており、ホルンブレンドと斜長石が下部地殻の主要構成鉱物である考えられ、下部地殻の構成岩石種として角閃石はんれい岩や角閃岩が推測される。日本海東縁の地震波速度分布は、奥羽脊梁山脈および周辺部と大半が重複するが、P波速度およびS波速度ともに相対的に高速度側に、そして僅かながら低Vp/Vs側に分布している。地震波速度域は、ホルンブレンドの速度とほぼ同じであるが、ホルンブレンダイトが大量に生成することは岩石の成因論的に考えられない。むしろ、この速度領域は斜方輝石側に引き寄せられていると考えるのが妥当である。つまり、日本海東縁リフト下部地殻は斜長石と角閃石に加えて斜方輝石が主要構成鉱物であると推測され、角閃石輝石はんれい岩が代表的な構成岩石であると解釈される。上記のように、防災科学技術研究所の三次元地震波速度構造から推測された下部地殻構成岩石モデルは基本的には先行研究[3]の地殻構成岩石モデルと同様である。二つの異なる地震波トモグラフィー[4),6)]を用いても下部地殻構成岩石の解釈に明瞭な差異はないことから、これらの下部地殻構成岩石モデルは妥当であると思われる。

本研究ではさらに防災科学技術研究所の日本列島下の三次元地震波速度構造を用いて、より広範囲の日本海東縁部の地殻構成を解釈した。図４には深さ30kmにおけるP波速度6.7-7.3km/sの分布を示した。このP波速度ははんれい岩類のP波速度と同程度であり、はんれい岩類の分布域を示していると解釈できる。日本海東縁にほぼ平行にP波速度6.7-7.3km/sに該当しない岩石が分布しており、一般的なはんれい岩が分布しないことを意味している。図５には深さ35kmにおけるP波速度6.7-7.3km/sの分布を示した。島弧に分布域が対応していることから、島弧下では相対的に厚いはんれい岩類が存在することを示唆している。図６には深さ30kmにおけるP波速度7.3-7.7km/sの分布を示した。日本海東縁にほぼ平行に分布するこのP波速度は苦鉄質に富む岩石（優黒質はんれい岩やパイロキシナイト）であると推測され、日本海東縁リフトの玄武岩質マグマ活動の痕跡であると考えられる。図７には深さ30kmにおけるP波速度7.5-7.7km/sの分布を示した。非常に苦鉄質に富む岩石（パイロキシナイトが主）が分布していると推測され、日本海東縁リフト直下にマグマだまり起源の沈積岩が存在する部分であると解釈できる。図８には深さ35kmにおけるP波速度7.8km/s以上の分布を示した。日本海東縁にほぼ平行に分布するこのP波速度はかんらん岩であると推測しており、日本海東縁リフトの引張テクトニクスに伴いマントルが周囲に対して相対的に浅部まで上昇した痕跡であると考えられる。図９には深さ20kmにおけるP波速度6.7-7.3km/sの分布を示した。日本海東縁にほぼ平行に分布するこのP波速度ははんれい岩であると推測され、日本海東縁のリフト拡大に伴い

玄武岩質マグマが周囲と比べて相対的に地殻浅部まで貫入した痕跡であると考えられる。

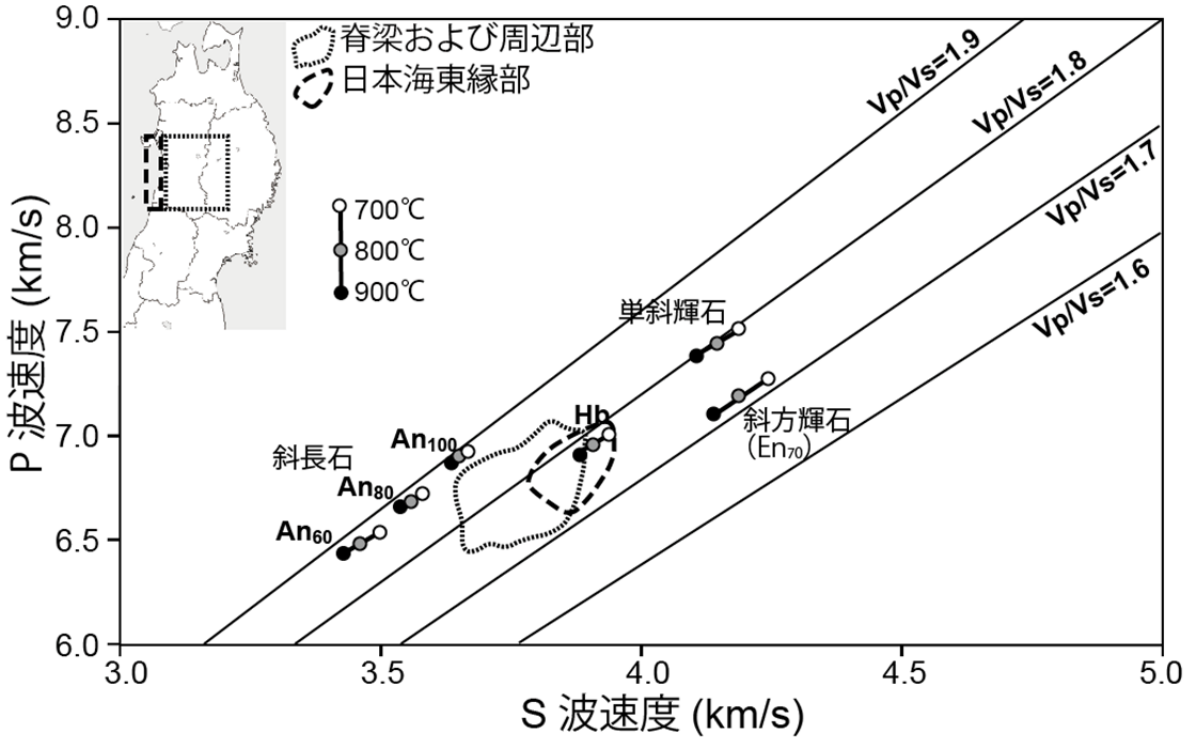

図 3　日本海東縁部下部地殻と脊梁および周辺部下部地殻の地震波速度の比較（石川ほか（印刷中）[5] を修正）。防災科学技術研究所の日本列島下の三次元地震波速度構造[6]を用いた（深度 25 km）。

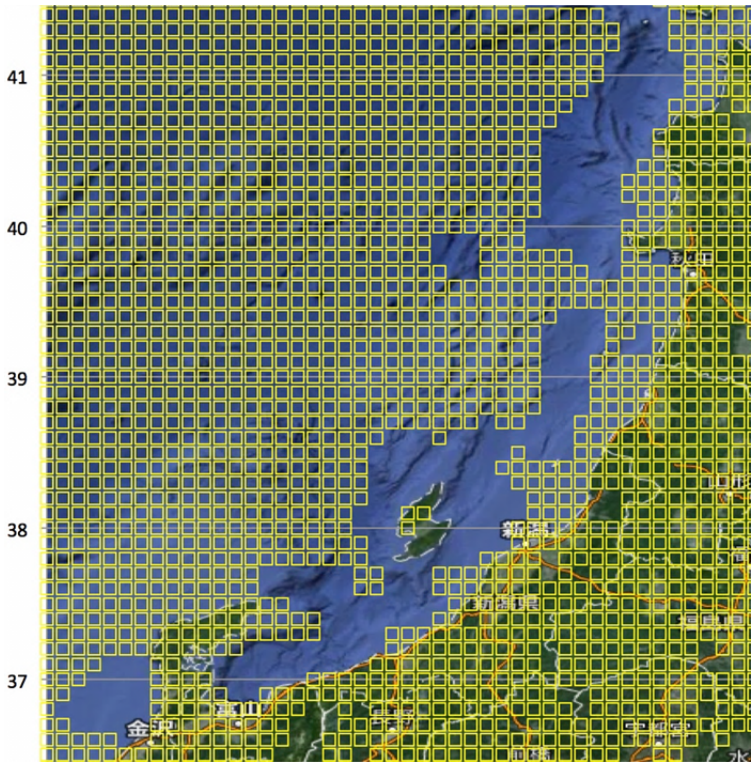

図 4　深さ 30km における Vp=6.7-7.3km/s の領域（□）。P 波速度 6.7-7.3km/s ははんれい岩類の P 波速度であり、はんれい岩類の分布域を推測している。日本海東縁にほぼ平行に P 波速度 6.7-7.3km/s に該当しない岩石が分布する。なお、関東地域の解釈は除く。

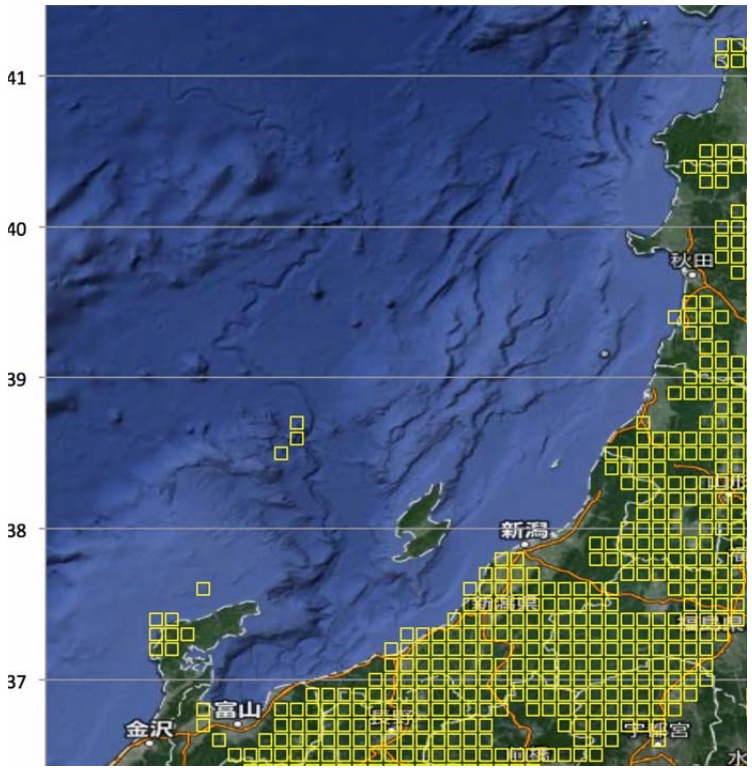

図 5　深さ 35km における Vp=6.7-7.3km/s の領域（□）。島弧下に P 波速度 6.7-7.3km/s

の分布域が対応しており、島弧下では相対的に厚くはんれい岩類が存在することを示唆している。

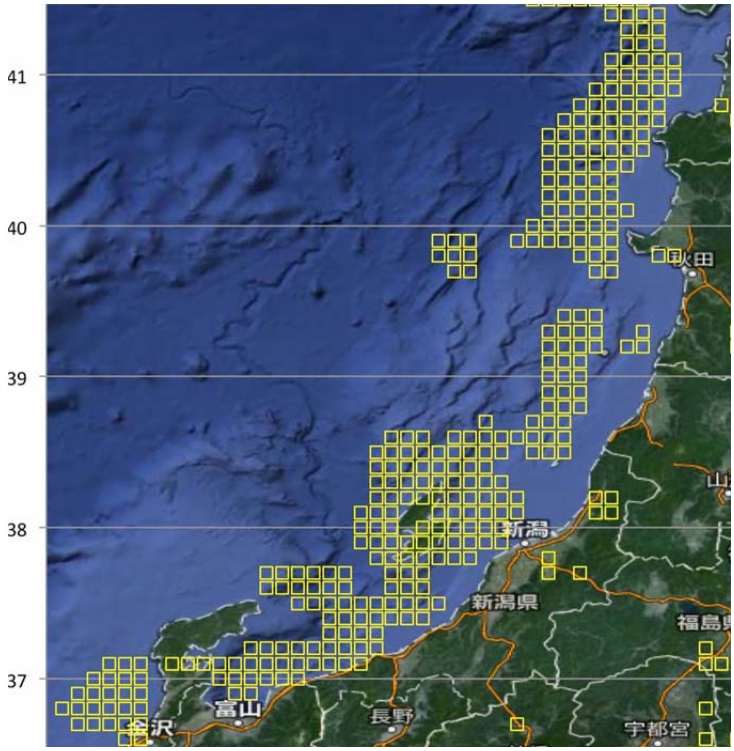

図 6　深さ 30km における Vp=7.3-7.7km/s の領域（□）。日本海東縁にほぼ平行に分布する P 波速度 7.3-7.7km/s は苦鉄質に富む岩石（優黒質はんれい岩やパイロキシナイト）であると推測される。日本海東縁リフトの玄武岩質マグマ活動の痕跡であると解釈される。なお、関東地域の解釈は除く。

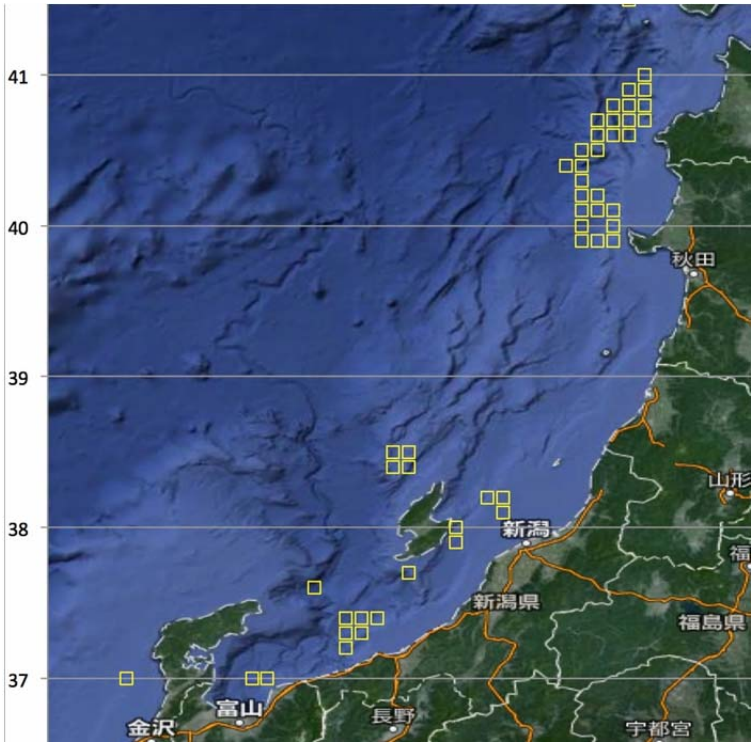

図 7　深さ 30km における Vp=7.5-7.7km/s の領域（□）。非常に苦鉄質に富む岩石（パイロキシナイトが主）が分布していると推測され、日本海東縁リフト直下にマグマだまり起源の沈積岩が存在する部分であると解釈される。

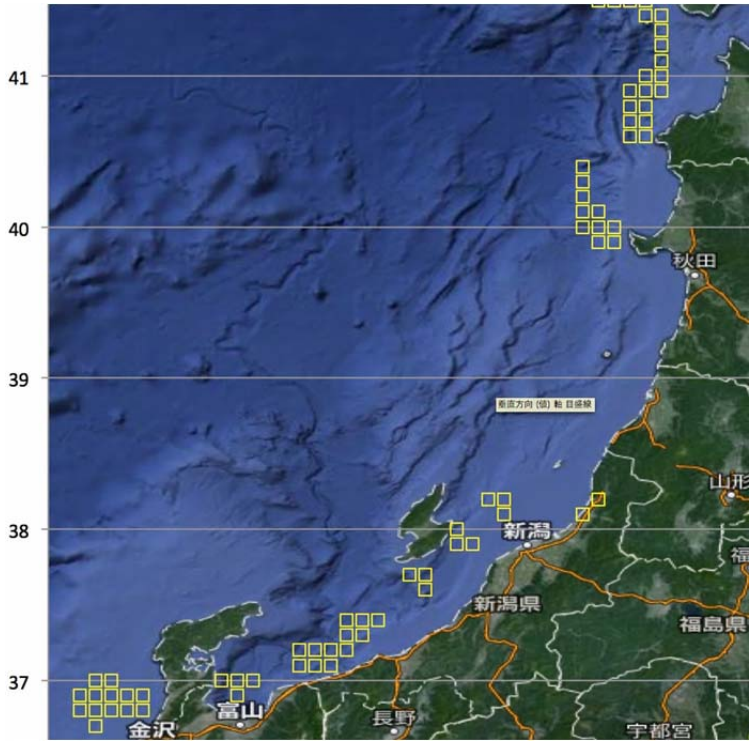

図 8　深さ 35km における Vp＞7.8km/s の領域（□）。日本海東縁にほぼ平行に分布する 7.8km/s 以上の P 波速度はかんらん岩であると推測され、日本海東縁リフトの引張テクトニクスに伴いマントルが相対的に浅部まで上昇した痕跡であると考えられる。

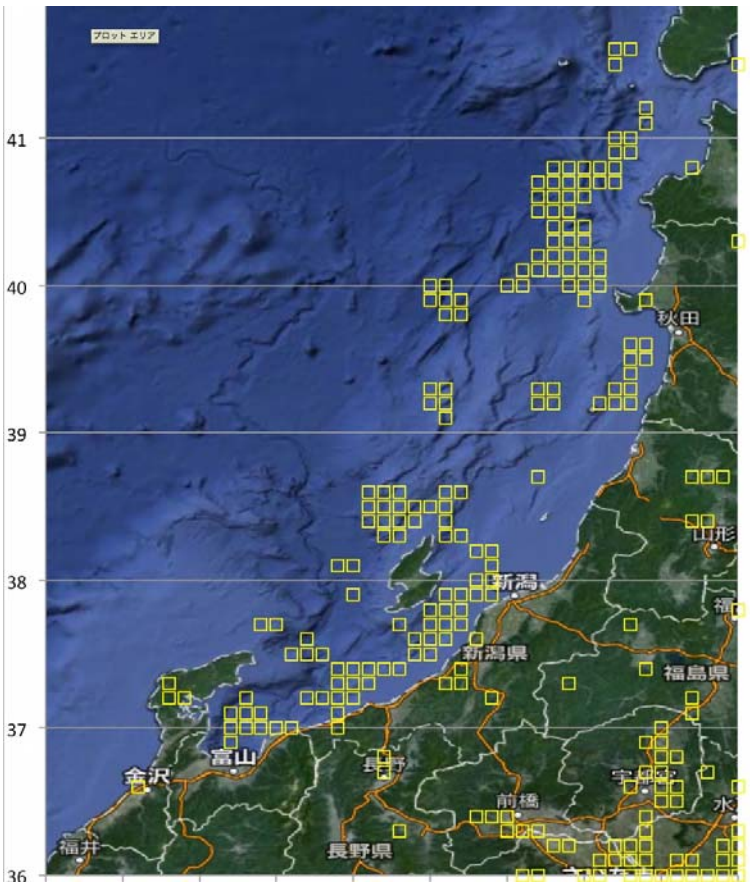

図 9　深さ 20km における Vp=6.7-7.3km/s の領域（□）。日本海東縁にほぼ平行に分布するこの P 波速度ははんれい岩であると推測しており、日本海東縁のリフト拡大に伴い玄武岩質マグマが相対的に地殻浅部まで貫入した痕跡であると考えられる。なお、関東地域の解釈は除く。

3) 万能試験機の導入

日本海と沿岸域の地殻構成に関する研究において、地殻物性モデルの構築を目指している。本研究では、鉱物多結晶体を用いて超低速対応の万能材料試験機で変形試験を行い、鉱物や岩石の変位荷重関係を測定して、レオロジー特性データを得ることを計画している。試験速度が早いと高温条件の岩石とは言え、高歪速度変形の影響で流動することなく破断してしまい、レオロジー特性を決定することが出来ないため、岩石を破断することなく流動変形させるためには低速度の試験を行う必要がる。そこで今回導入した万能試験機は低速度かつ数桁の異なる変位速度で変形試験ができることを条件として選定した。また、鉱物や岩石のレオロジー特性の測定には高温での変形試験が必要なため、高温炉が設置できることも条件とした。

(c) 結論ならびに今後の課題

岩石鉱物の弾性波速度とレオロジーデータを収集した。論文の収集はほぼ終えているが、

測定値のデータベース化は時間を要するので今後の課題として取り組んで行く。弾性波速度データは膨大ではあるが、大多数が大陸地殻の岩石であり、今後は島弧地殻起源の岩石のデータを中心に整理データベース化して行く予定である。レオロジーデータも既存のものは論文を収集しデータベース化に取り組んでいる。類似した岩石や同一鉱物間でも実験で得られたレオロジー特性には大きな開きがあるので、データの整理と、実験によるレオロジー特性の把握が今後の課題として考えられる。
今年度は防災科学技術研究所の地震波トモグラフィーに基づき地殻構成岩石の初期モデルを検討した。今年度、提唱した地殻構成岩石初期モデルは地殻物性を定量的に見積もる際には、欠かせない初期モデルである。次年度以降、地殻構成岩石モデルの更新を行って行きたい。今後、これらの地殻構成岩石モデルを活用した断層下限の推定が重要な課題である。

(d) 引用文献

1) Iwasaki, T., Moriya, T., Hasemi, A., Umino, N., Okada, T., Takeda, T., Sekine, S., Tashiro, K. and Miyamachi, H.: Extensional structure in northern Honshu Arc as inferred from seismic refraction/wide-angle reflection profiling, Geophysical Research Letters, 28, 2329–2332, 2001.
2) Nishimoto, S., Ishikawa, M., Arima, M. and Yoshida, T.: Laboratory measurement of P-wave velocity in crustal and upper mantle xenoliths from Ichino-megata, NE Japan: ultrabasic hydrous lower crust beneath the NE Honshu arc. Tectonophysics, 396, 245-259, 2005.
3) Nishimoto, S., Ishikawa, M., Arima, M., Yoshida, T., Nakajima, J.: Simultaneous high P-T measurements of ultrasonic compressional and shear wave velocities in Ichino-megata mafic xenoliths: Their bearings on seismic velocity perturbations in lower crust of northeast Japan arc. Journal of Geophysical Research, 113, B12212, doi:10.1029/2008JB005587, 2008.
4) Nakajima, J., Matsuzawa, T., Hasegawa, A. and Zhao, D.: Three dimensional structure of Vp, Vs, and Vp/Vs beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids. J. Geophys. Res., 99, 22205-22220, 2008.
5) 石川正弘・松原誠・武田哲也：北上山地下の珪長質下部地殻と斜方輝石岩マントル: 白亜紀スラブメルティングの証拠, 岩石鉱物科学（印刷中）.
6) Matsubara, M., Obara, K. and Kasahara, K.: Three-dimensional P- and S-wave velocity structures beneath the Japan Islands obtained by high-density seismic stations by seismic tomography, Tectonophysics, 454, 86-103, 2008.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウエア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成２６年度業務計画案

岩石と鉱物の弾性波速度およびレオロジーに関する既存データを整理する。主要造岩鉱物の多結晶焼結体を作成する。岩石の弾性波速度測定実験を行なう。万能試験機による高温変形実験の準備段階として予備実験を行う。