

石油開発の視点からの地圏研究への期待

Expectations for Geosphere Research from a Petroleum Geologist

1. 地圏内の物質移動の解明
2. 地下流体の汲み上げや地下圧入の地表環境におよぼす影響の定量的評価
3. 地下地質データのアーカイブ

石油探鉱で得られた知見が地圏の利用と保全に活用されると同時に、日本発の地圏の研究が世界の石油探鉱に貢献する相乗効果を期待します。

石油資源開発㈱
中東・アフリカ・欧州事業本部 星 一良

1. 地圏内の物質移動の解明

開放系としての地圏内の物質移動と地層変形

- ・ 地表から地下10,000mまで
- ・ 過去から現在
- ・ 天水-地下水-地層水(化石水)-温泉-熱水
石油-天然ガス CO₂ Cl, Na, Ca, I, S
- ・ 地層変形、沈降圧密、隆起削剥

- 地層流体の移動過程の解明の鍵として、天然ガス、塩分濃度、地層圧密と圧力、が指標となる例を提示する。

1-1. 微生物起源ガス

天然ガスの起源： 微生物起源ガスと熱分解起源ガス

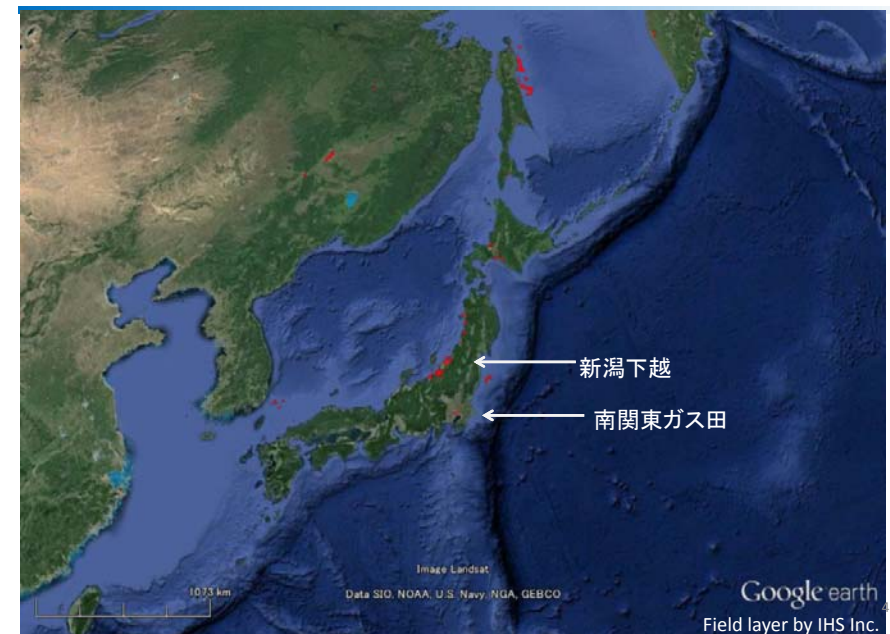
21世紀以降、東地中海やミャンマー沖などで微生物起源の大規模ガス田発見が続く。

開発技術の進歩により海洋での未固結砂岩からのガス生産が可能となり、微生物起源ガスへの注目が高まっている。

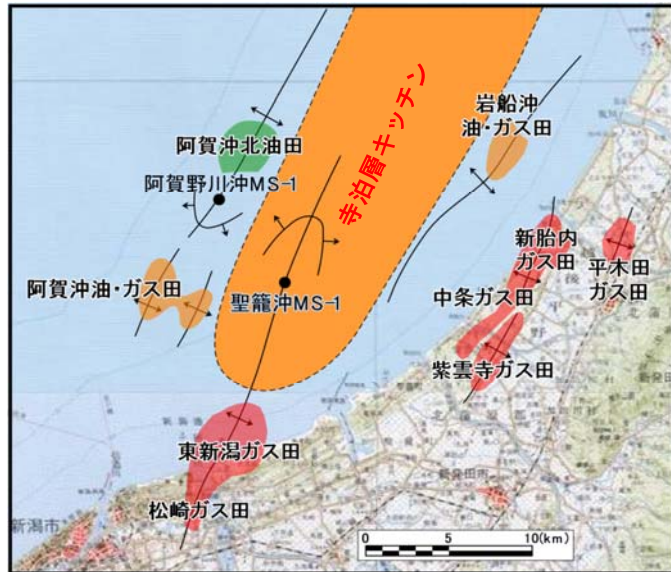
メタンハイドレートの洋上生産試験 2013年。

身近には関東平野に南関東ガス田の水溶性ガス田。

1-1. 微生物起源ガス

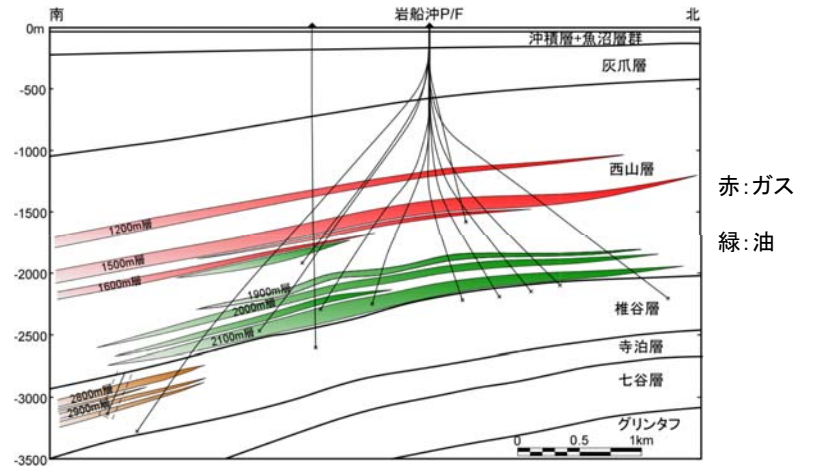


新潟下越油ガス田



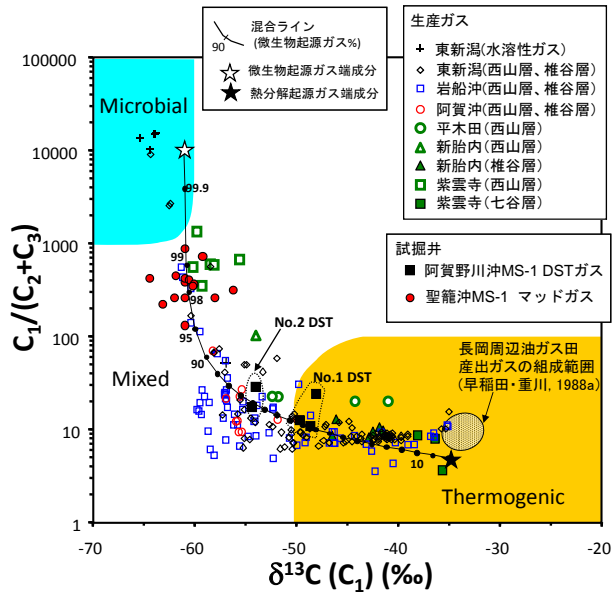
早稲田ほか 2011

岩船沖油田断面図



早稲田ほか 2011

新潟油ガス田のメタン炭素同位体組成とメタン/(エタン+プロパン)比



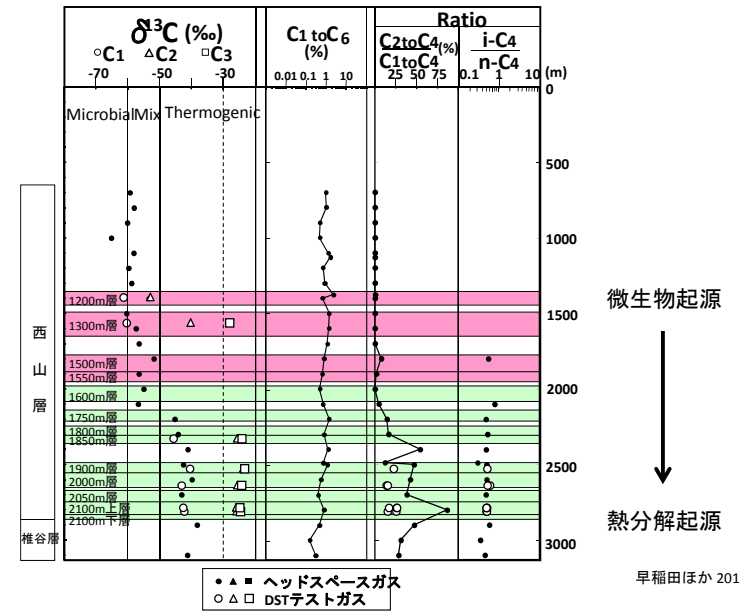
微生物起源ガスと熱分解起源ガスは、炭化水素組成と炭素同位体組成から区別できる。

メタン炭素同位体組成とメタン/(エタン+プロパン)

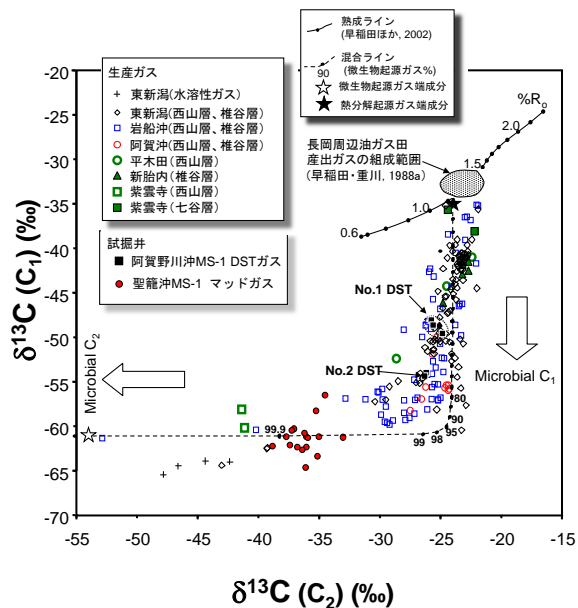
新潟県中越の油ガス田は熱分解起源ガスのみからなるが、下越の北蒲原地域の油ガス田では微生物起源と熱分解起源ガスが混合しており、浅部の水溶性ガス田は純粋な微生物起源であるが、深い層ほど熱分解起源ガスの割合が高い

早稲田ほか 2011

岩船沖油田 ガス組成



早稲田ほか 2011



早稲田ほか 2011

ガス年間消費量2013年 Tcf (兆立方フィート)

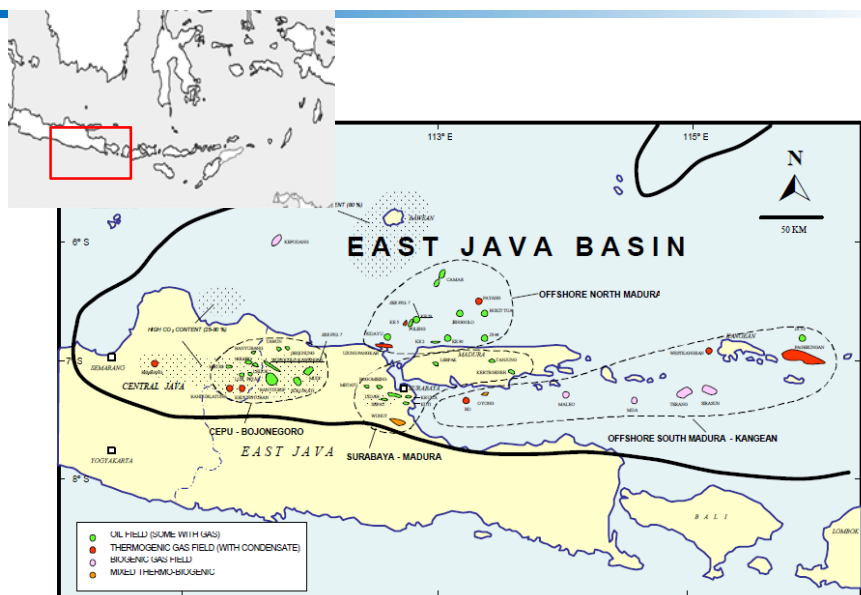
世界	120
米国	26 (うち約1/3がShale GasとCBM)
日本(LNG)	4

微生物起源ガス田 可採埋蔵量

インドネシア	Terang-Sirasun	1	
イスラエル	Leviathan	16	Tamar 8
エジプト	Zohr	30	Nile Delta 3
ミャンマー	Shwe	3	Zawtika 2
中国	Qaidam basin	10	

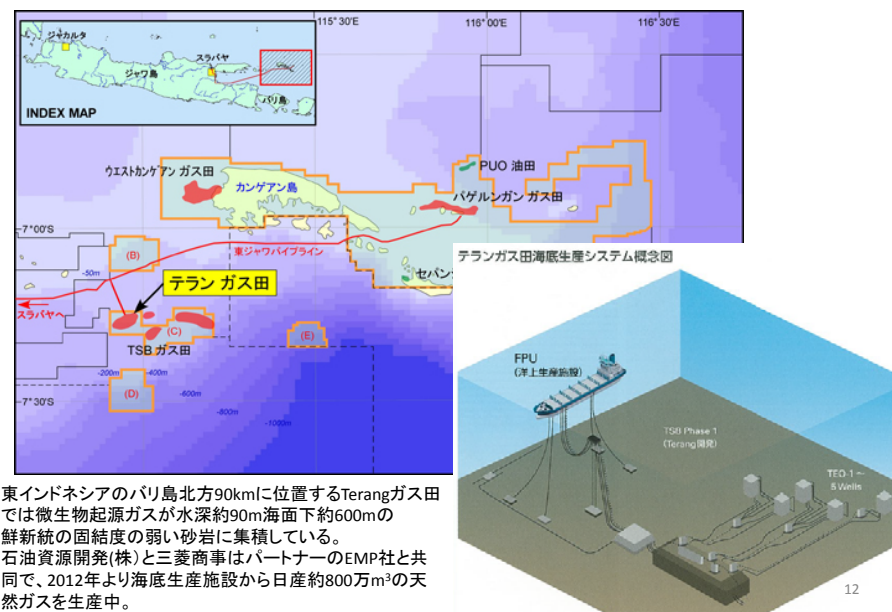
南関東ガス田 13
(西シベリア堆積盆 1700)

インドネシア ジャワ島油ガス田



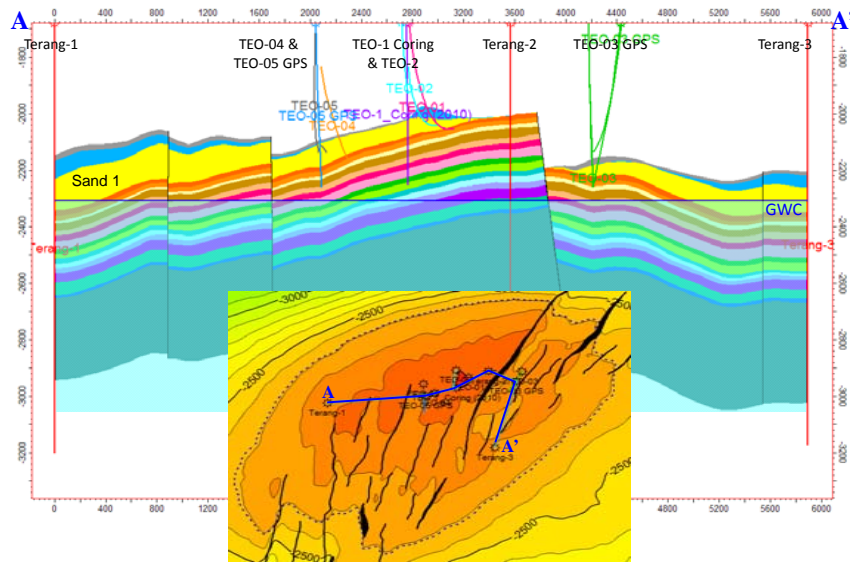
Satyana, A.H and Purwaningsih, M.E, 2003, GEOCHEMISTRY OF THE EAST JAVA BASIN: NEW OBSERVATIONS ON OIL GROUPING, GENETIC GAS TYPES AND TRENDS OF HYDROCARBON HABITATS, IPA 29th Annual Convention Proceedings

East Java Kangean Block



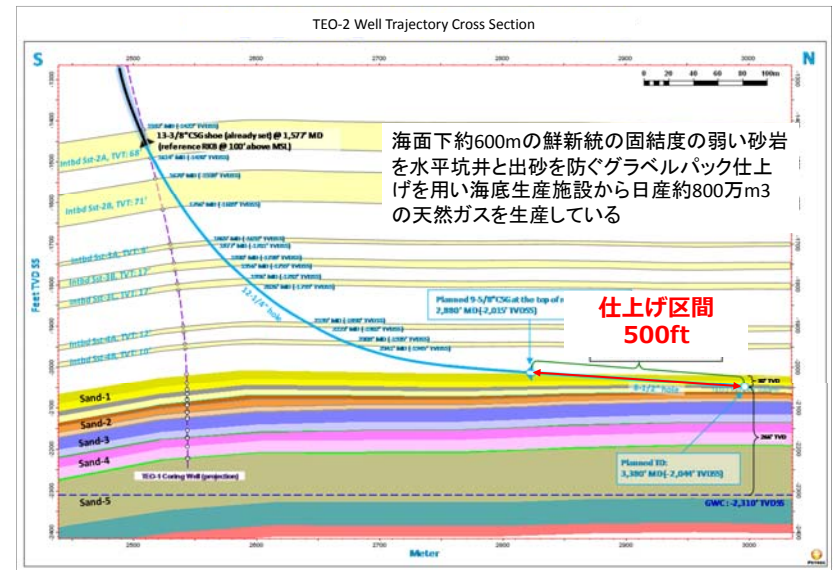
東インドネシアのバリ島北方90kmに位置するTerangガス田では微生物起源ガスが水深約90m海面下約600mの鮮新統の固結度の弱い砂岩に集積している。石油資源開発(株)と三菱商事はパートナーのEMP社と共同で、2012年より海底生産施設から日産約800万m³の天然ガスを生産中。

微生物起源ガス Terang ガス田 地質断面図



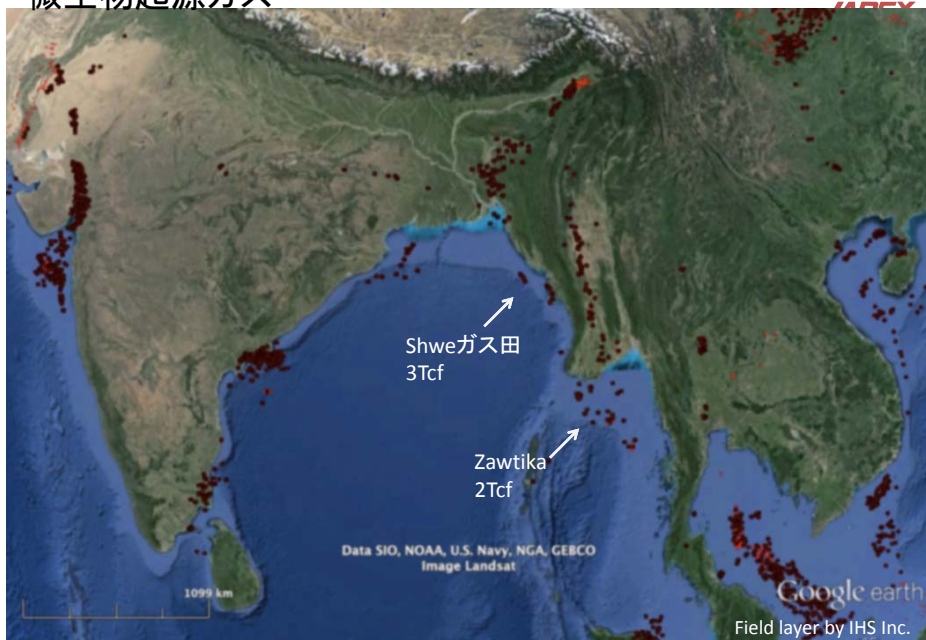
一丸、井上 2015 13

微生物起源ガス Terang ガス田 生産坑井デザイン



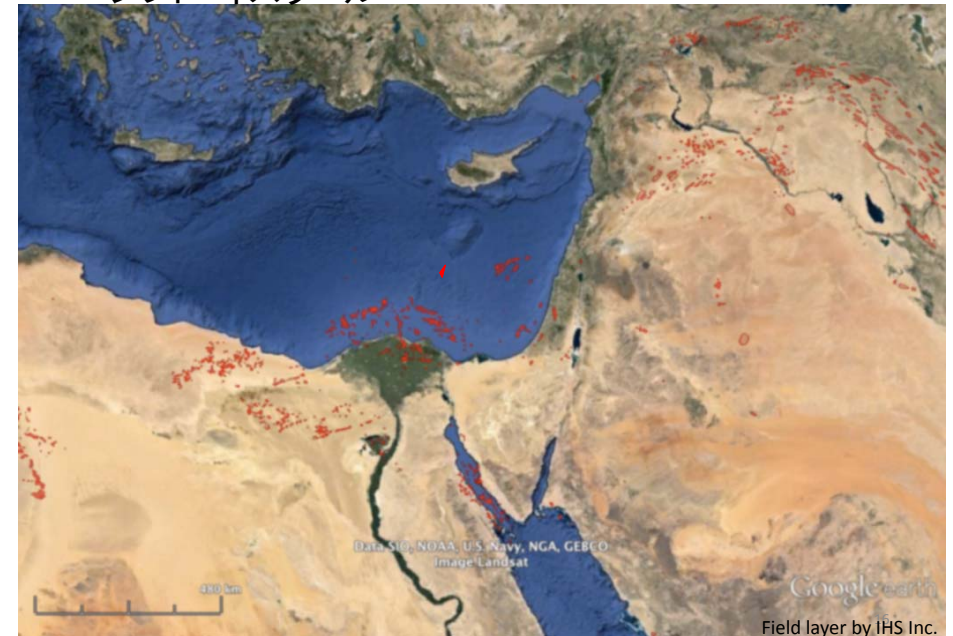
一丸、井上 2015 14

微生物起源ガス



一丸、井上 2015 15

エジプト イスラエル



一丸、井上 2015 16

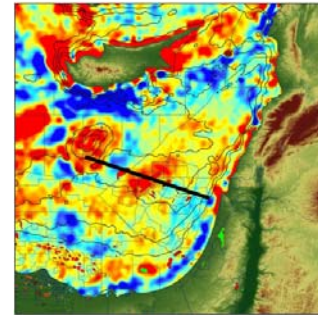


Israel 2010年
Leviathan
WD 1500m
16 Tcf

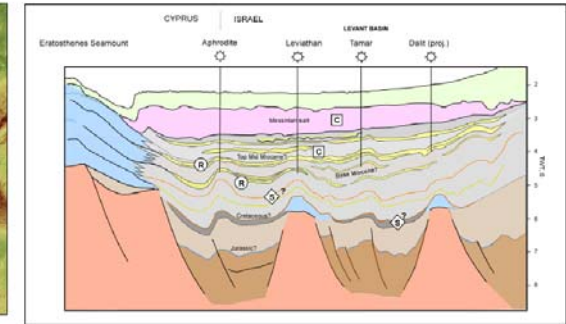
Cyprus 2011年
Aphrodite
4-6 Tcf

Egypt 2015年 ENI
Zohr
WD 1450m
海底面下 2000m
30 Tcf

Southern Levant Discoveries – Play Concepts



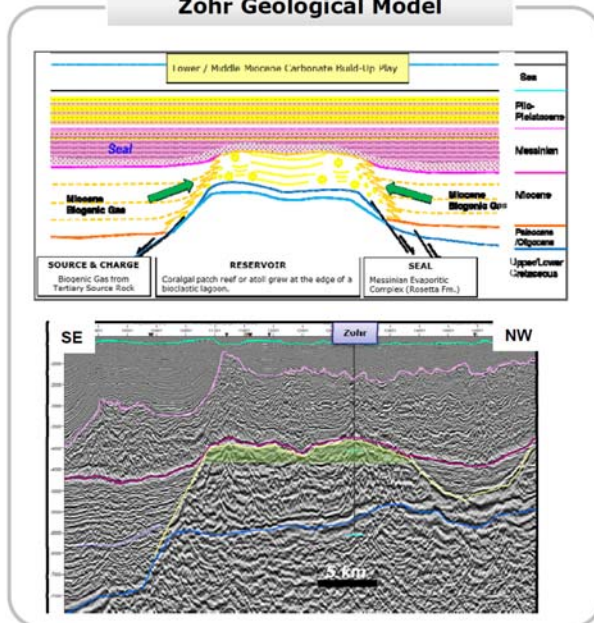
Bouguer gravity 1VD & bathymetry contours to 2000m



主に微生物起源とされるが
熱分解起源ガスと油もあるとされる。
微生物起源と熱分解起源ガスは地下で
如何に移動し混ざるのであろうか？

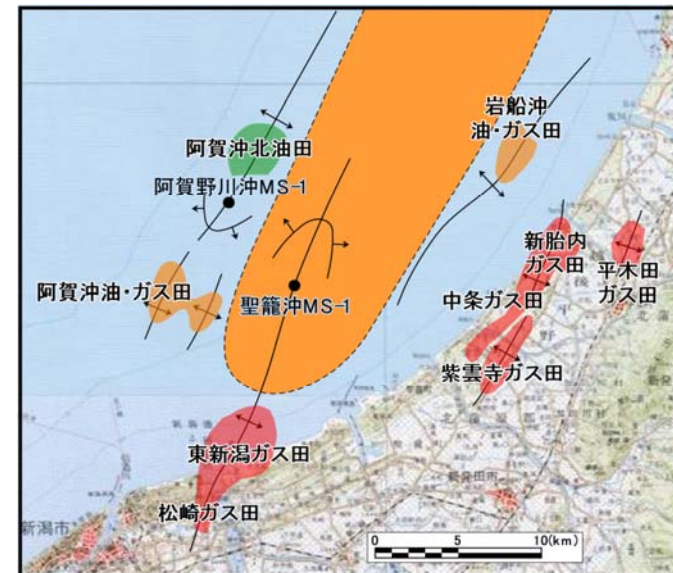
- Biogenic gas in Lower Miocene sandstones, trapped in large four-way closures with large fetch areas
- Underpinned by deeper structure
- Potential for thermogenic hydrocarbons at deeper levels

微生物起源ガス Egypt Deep Water Zohr Discovery
Zohr Geological Model

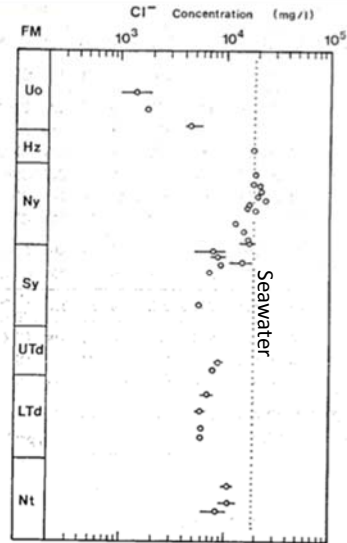


微生物起源と
熱分解起源ガスは地下
で如何に移動し混ざる
のであろうか？

新潟下越油ガス田



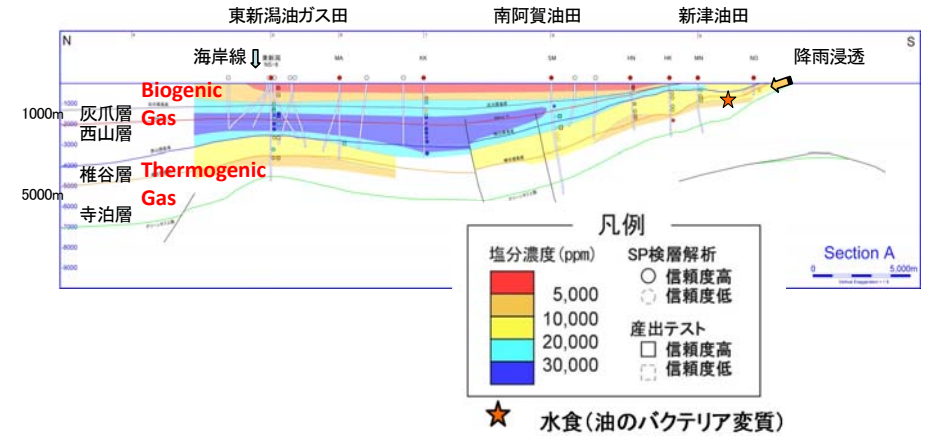
1-2. 地層水塩分濃度



新潟下越の海成層の地層水の塩分濃度は概ね海水より低く、深度と地質層準に応じて変化し、特に異常高圧生じる寺泊層では約10,000ppmと低くなる

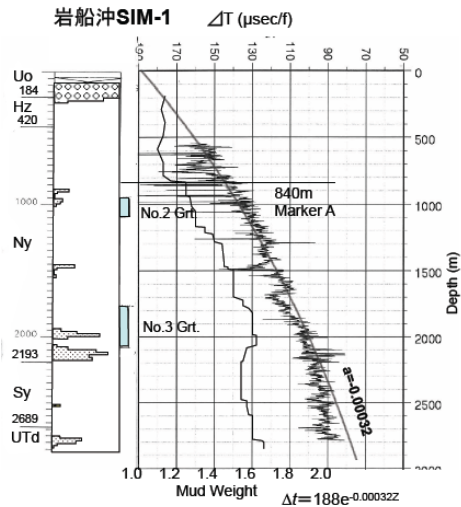
新潟の地層水のCl⁻変化 (加藤 1987)

1-2. 地層水塩分濃度



新潟下越の化石塩水の塩分濃度分布 (吉村ほか2004)

1-3. 圧密過程の検討 音波検層を用いた孔隙率測定

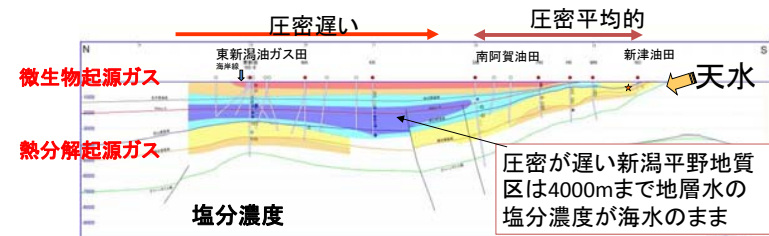


埋没過程で堆積物から移動する間隙水の量を直接測定することは困難だが、測定により簡単な孔隙率の増減の観察から地層流体量の増減を見積もることができる。

音波検層を用いた孔隙率測定は事例も多く圧密過程の検討に適し、地層圧力や削剥量の推定に有用である

新潟下越 岩船沖油田の音波検層柱状図と地層圧力 (星 2013)

地圏内の地層流体移動のモデル構築

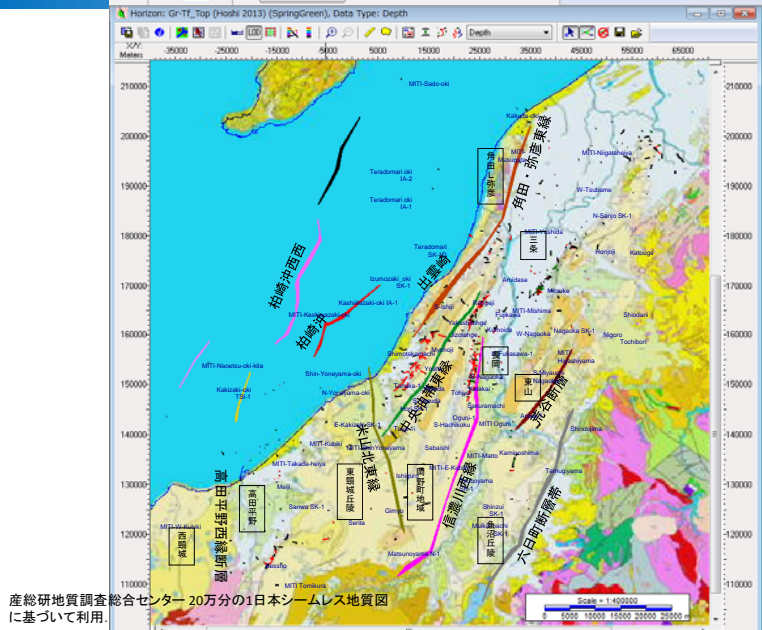


指標: 天然ガス、地層水塩分濃度、孔隙率、地層圧力

目標: 地圏内の地層流体移動のモデル構築
堆積岩の埋没過程での海水の排出と天水の浸入、その過程での地下微生物の役割と、ケロジェンの熱分解による炭化水素の生成と移動の過程を再現する。

夢: 新潟の水溶性ガスや関東天然ガス田の知見が、地下水研究と合わさって、世界の微生物起源ガス資源開発に貢献する。

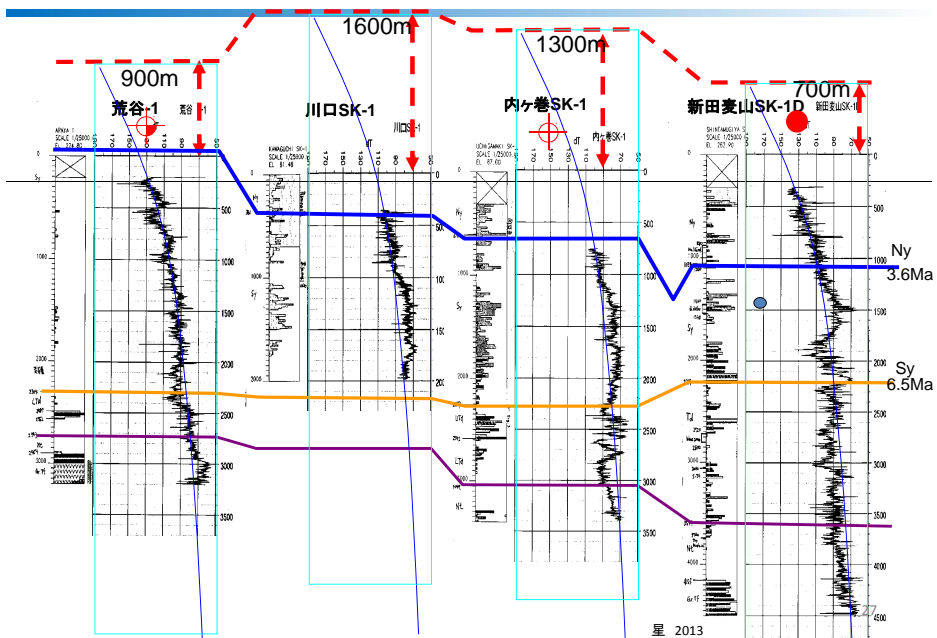
1-3. 圧密過程の検討 新潟主要断層・地質区名



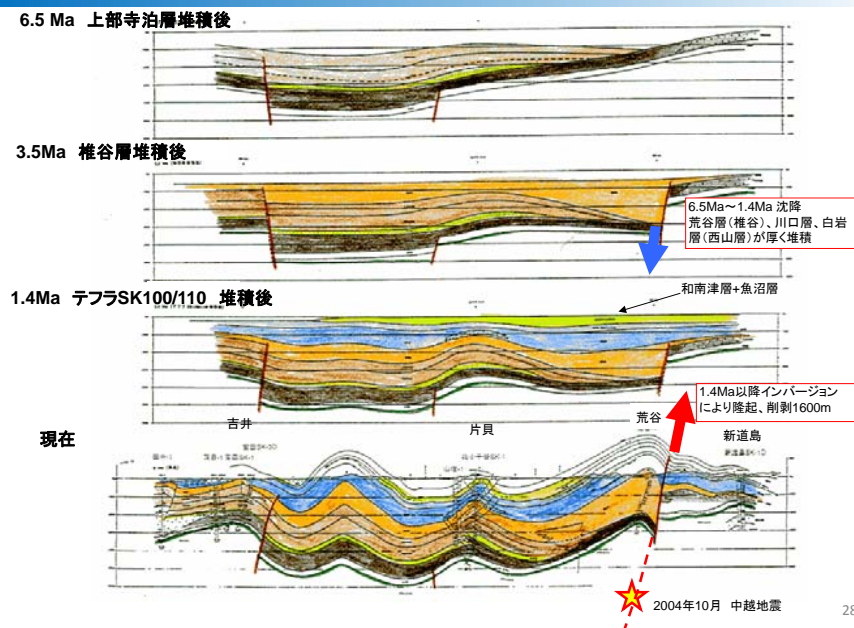
荒谷背斜と坑井位置、中越地震震源位置図

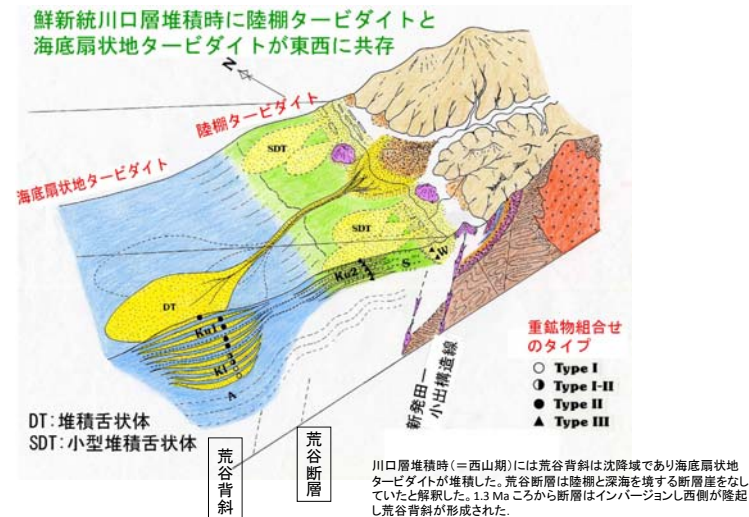
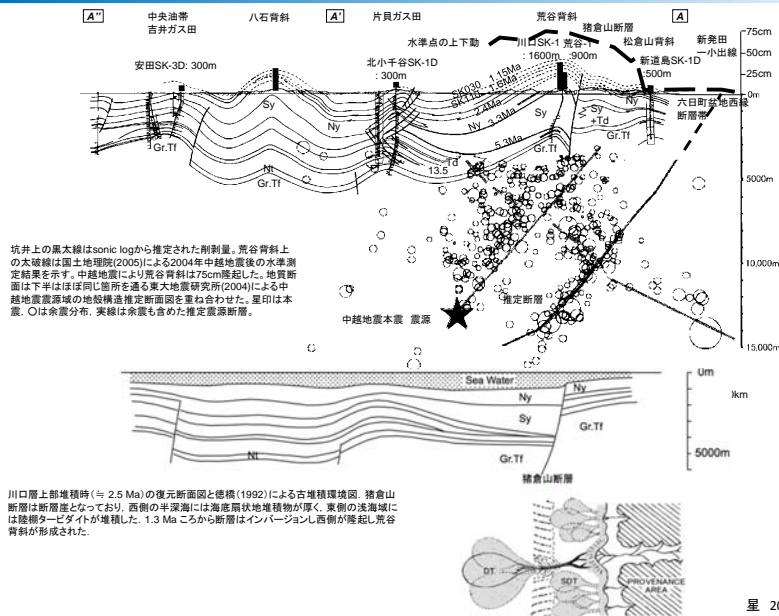


1-3. 圧密過程の検討 音波検層を用いた削剥量の推定



新潟中越 吉井-片貝-荒谷復元断面





1-4. 泥質岩中の流体移動

秋田 女川層 (中新世 珪質頁岩)

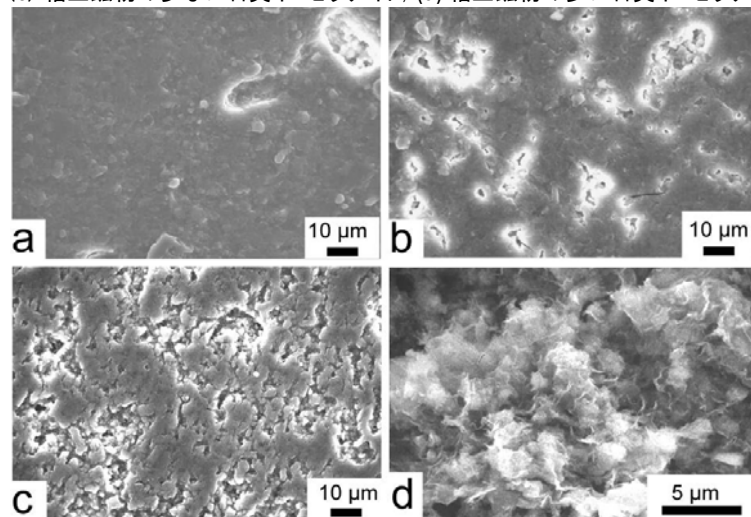


1-4. 泥質岩中の流体移動

Onnagawa Formation: Siliceous shale Black and White band



(a, b) オパールCTポ-セラナイト,
(c) 粘土鉱物の少ない石英ポ-セラナイト, (d) 粘土鉱物の多い石英ポ-セラナイト



辻ほか 2013

33



泥質岩のマトリックスからフラクチャーへの流体移動、砂泥互層での泥岩から砂岩への流体移動、砂岩から上位シール層を通過する流体移動の解明が、地圏研究と石油探鉱のシナジーによって躍進し、地圏利用に貢献することを期待する。

泥質岩中の流体移動
ダルシー則以外の拡散などが卓越する流れ

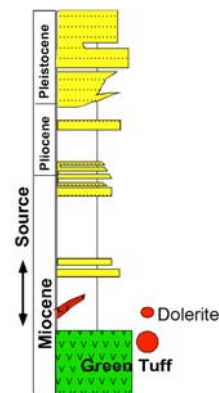
Oil is expelled from fractures

地学雑誌(2013) v.122, 1

34

1-5. 地層流体による鉱物の溶脱と沈殿

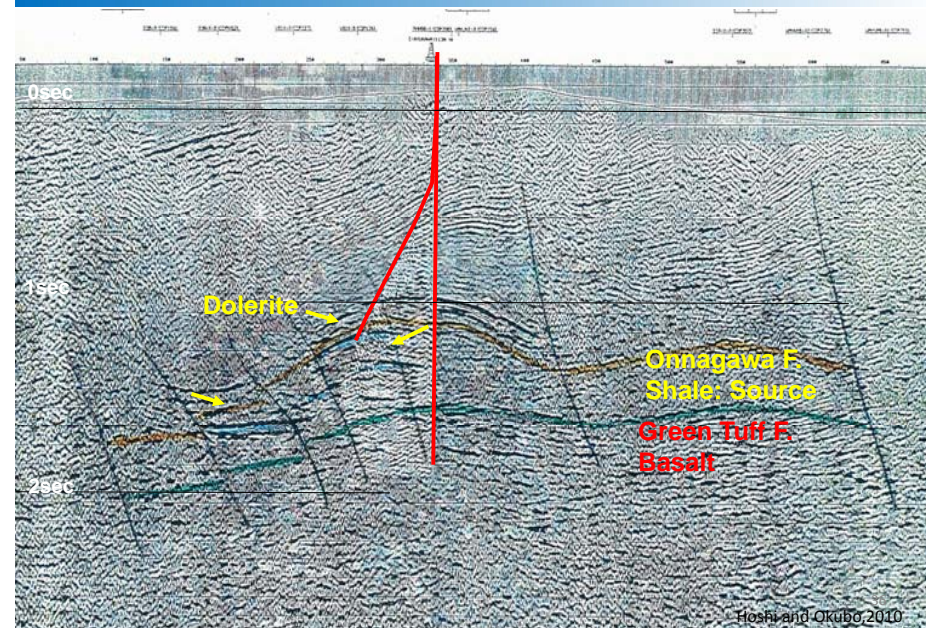
秋田県の鮎川ガス田では中新世女川層の珪質頁岩がシェールオイル・ガス貯留岩であり、そこに同時代のドレライトが貫入している。
ドレライトの一部では輝石の溶脱により二次孔隙形成され孔隙率は20%に達する一方、ドレライトに接する女川層珪質頁岩にはCaとMgが沈殿してドロマイトセメントとフラクチャーが発達し、いずれも生産性良い油貯留岩となっている。



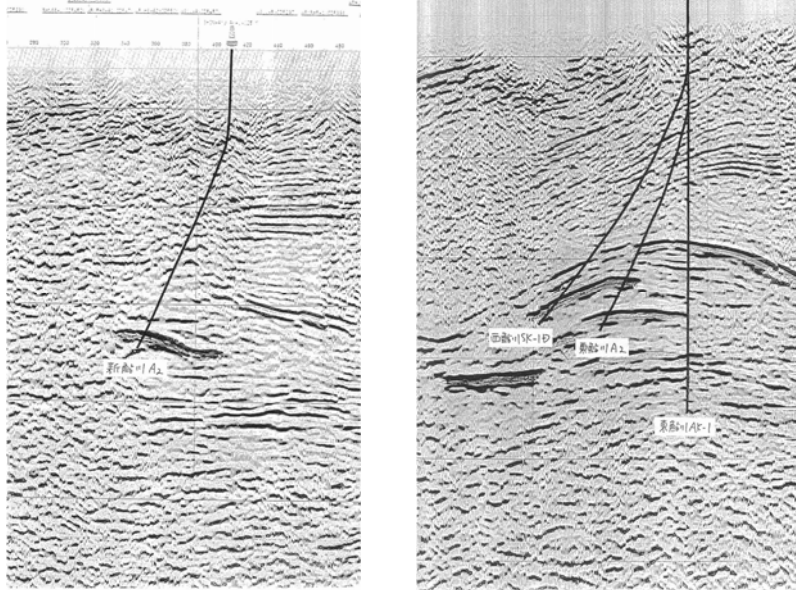
Hoshi and Okubo, 2010

35

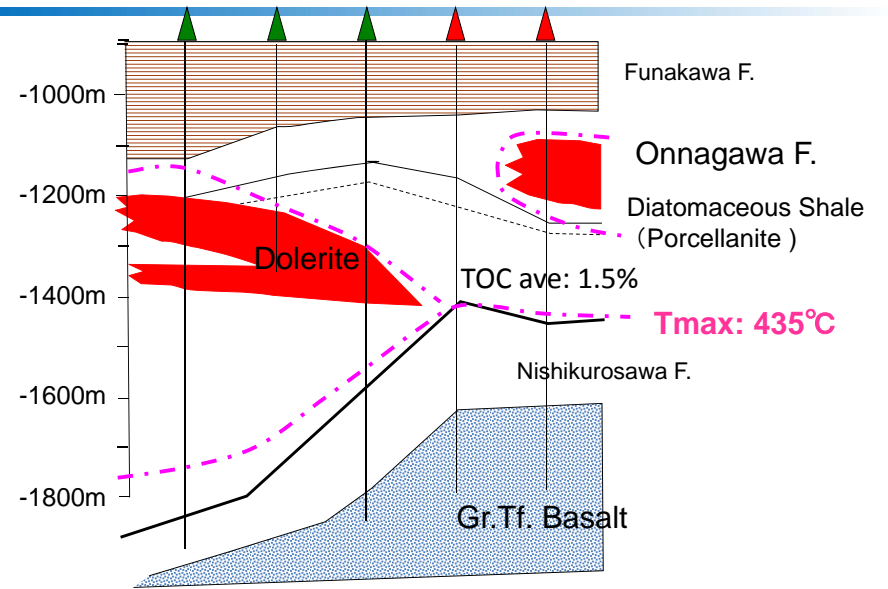
Ayukawa Oil and Gas Field



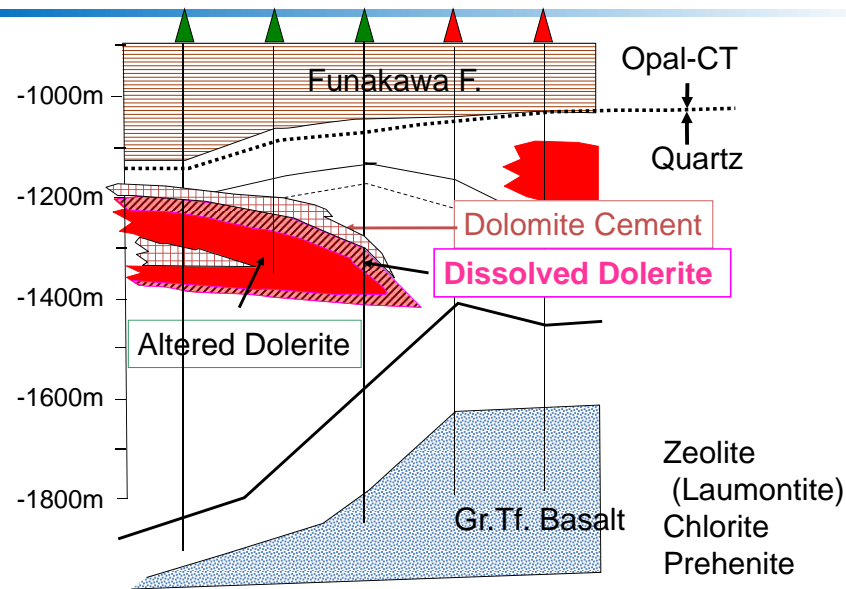
Hoshi and Okubo, 2010



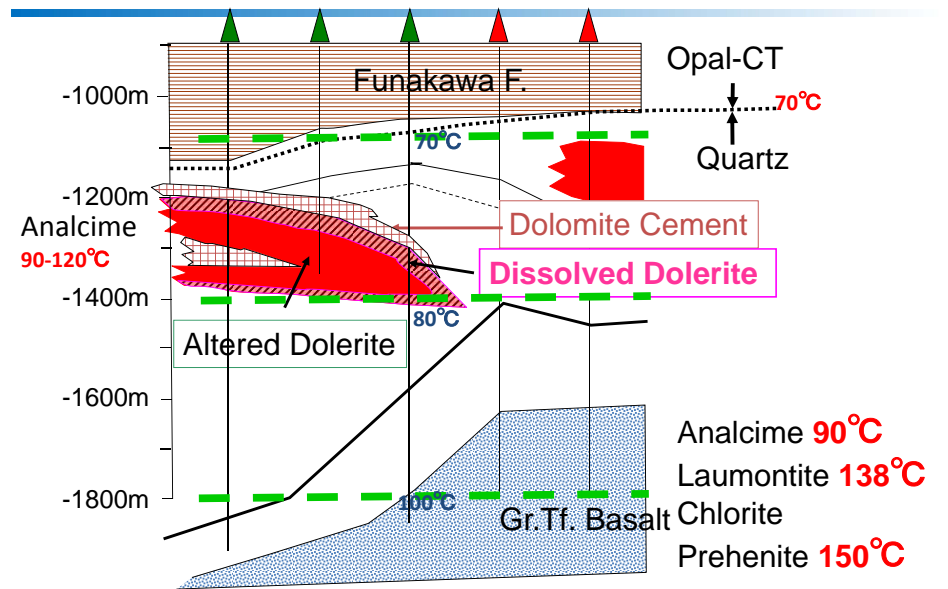
37
Hoshi and Okubo, 2010



38
Hoshi and Okubo, 2010

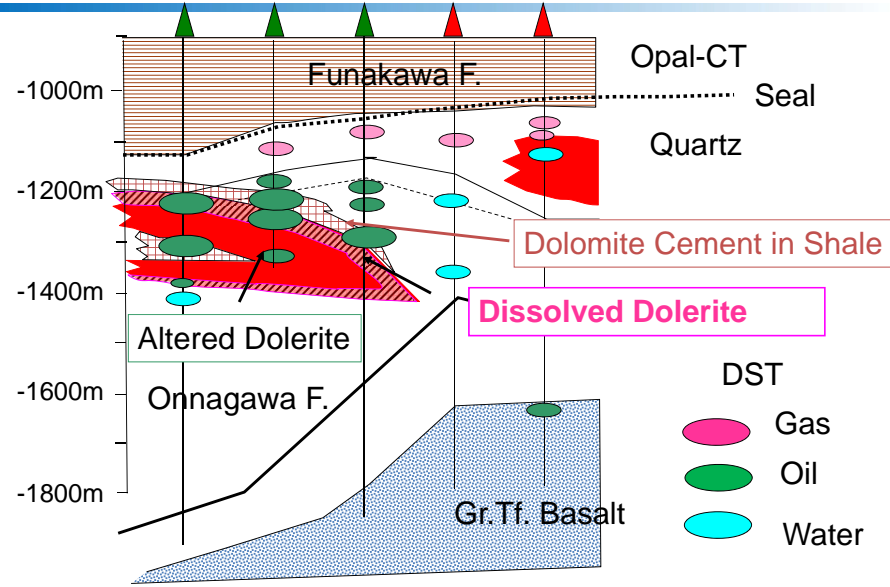


39
Hoshi and Okubo, 2010

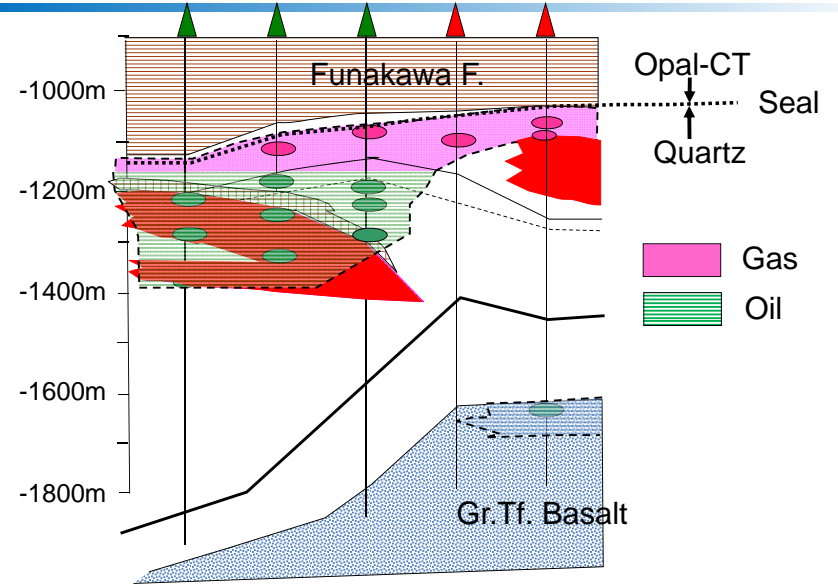


40
Hoshi and Okubo, 2010

Ayukawa Oil and Gas Field



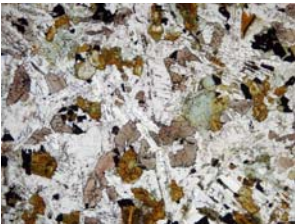
Oil/Gas Reservoir



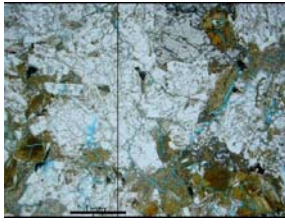
Dolerite Classification

Type		ϕ %	ϕ_e % >0.1 μ m	K insitu	Color	Mafic mineral
I	Fresh Dolerite	0-3	0		d.gray	Unaltered
II	Altered Dolerite	5-8	3-7	0.1md	gray	Clay
III	Dissolved Dolerite	15-25	9-11	1-10md	white	Dissolved

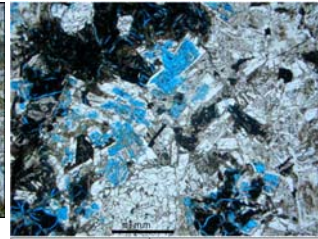
Fresh, Unaltered



Altered

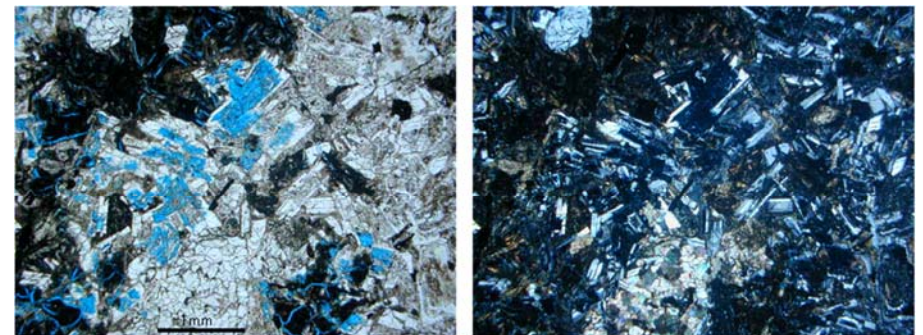


Dissolved

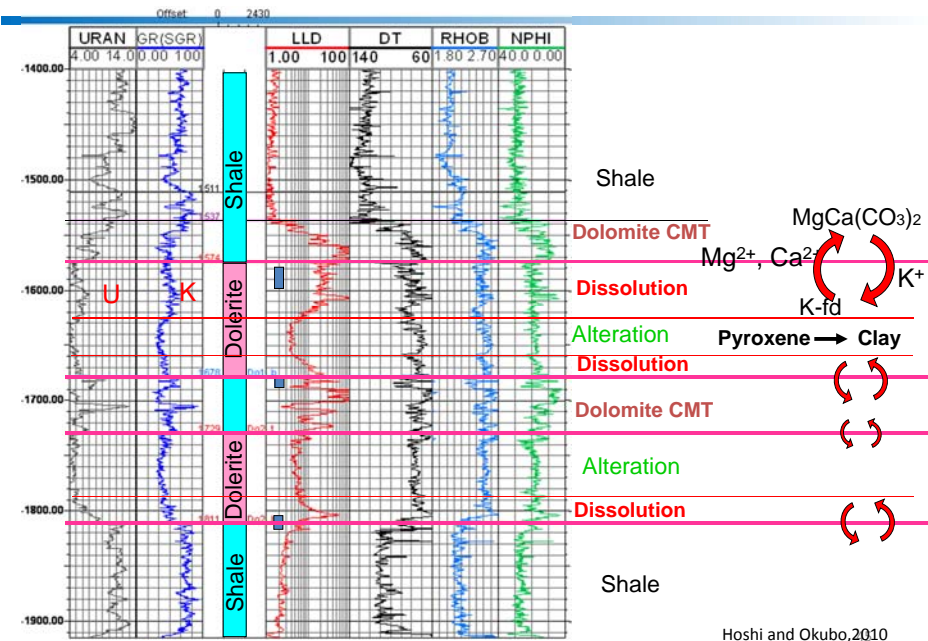


Lithology: Dolerite Porosity type: Dissolution
Porosity: 180 % Grain density: 2.71 g/cm³ Permeability: 78 md

Dissolved Dolerite



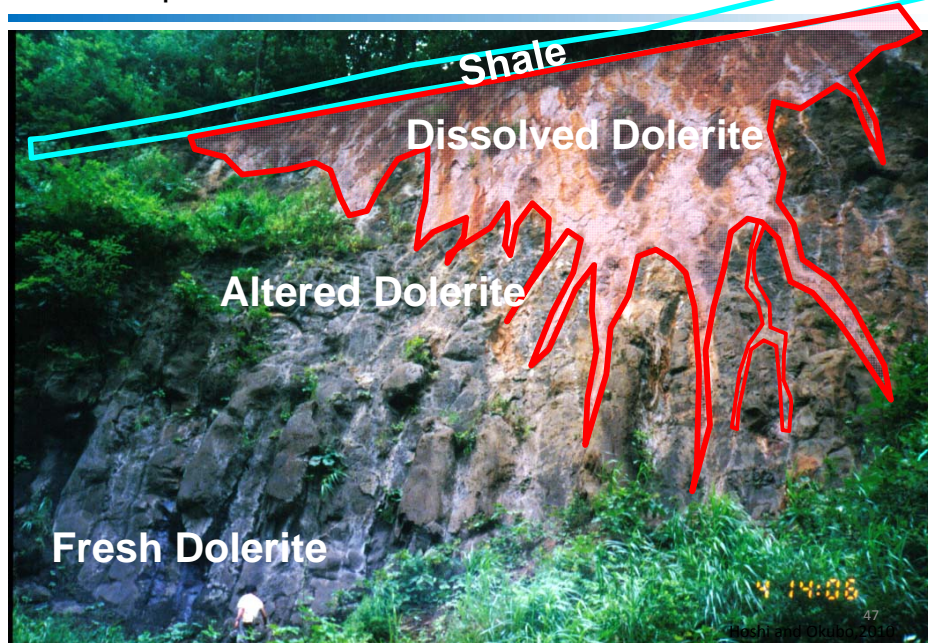
Lithology: Dolerite Porosity type: Dissolution
Porosity: 180 % Grain density: 2.71 g/cm³ Permeability: 78 md



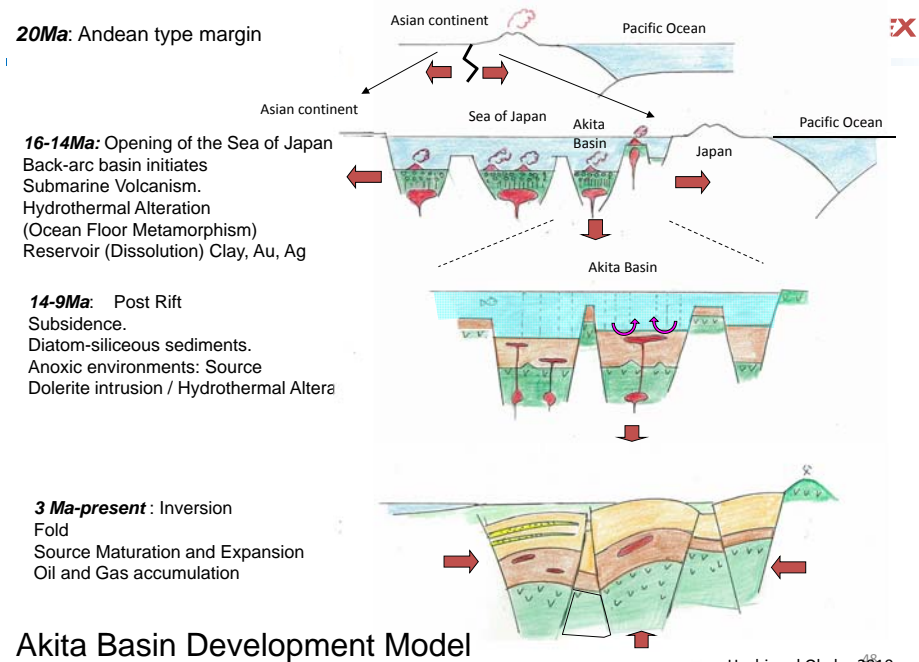
Hoshi and Okubo, 2010



Outcrop: Dissolved White Dolerite



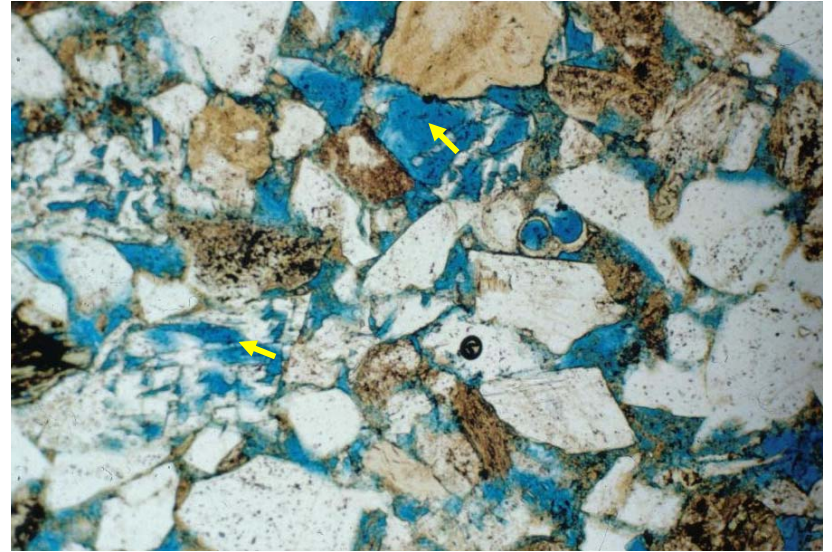
20Ma: Andean type margin



Hoshi and Okubo, 2010

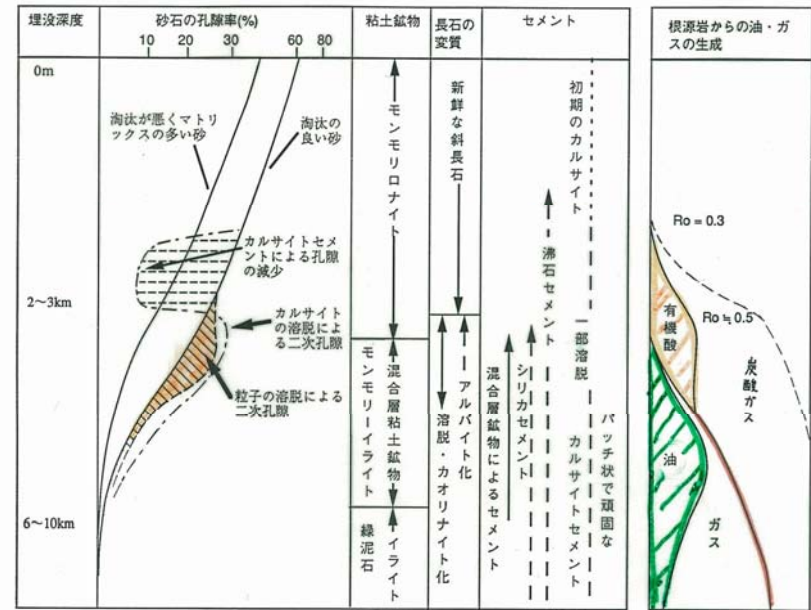
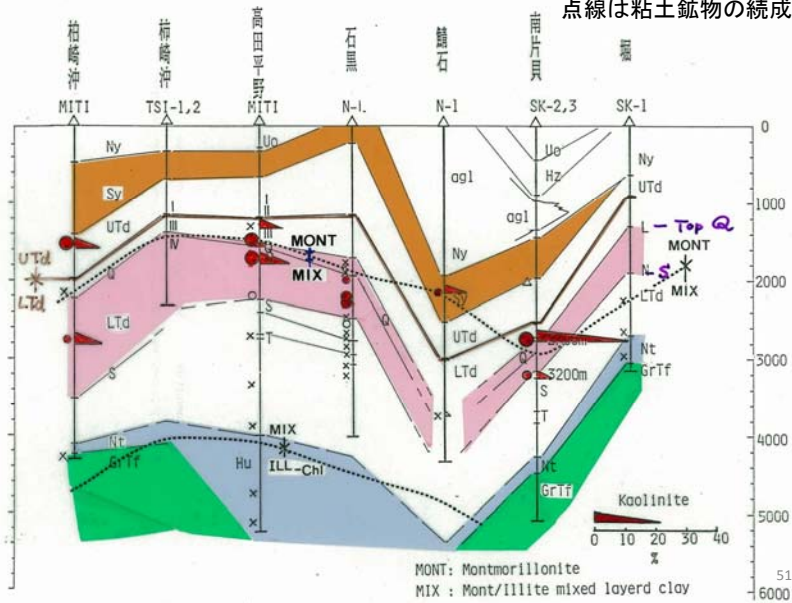
新潟県中越の片貝ガス田の下部寺泊層(中新世)2700m層砂岩では長石溶脱による二次孔隙が観察される。

長石を溶脱させた要因については有機物の熱分解によって生じた有機酸や火山活動に起因する熱水などの説があるが、いずれ埋没後の地層流体の活発な移動の産物と考えられる。



新潟片貝ガス田 2700m層 Feldspars are dissolved. Blue: pore, White: Quartz and Feldspar

● 長石の溶脱孔隙
点線は粘土鉱物の続成分帯



世界の天然ガス田開発は条件の良いものから進んできたが、
 今後はCO₂やH₂S成分に富むサワーガスの開発に重点が移ると
 予想され、CO₂とH₂Sの地層圧入の必要性が高まる。

マレーシア: CO₂濃度40%のガス田開発始め、将来は炭酸塩
 リーフガス層の端水面以下の水層にCO₂圧入を計画。

アブダビ: サワーガス圧入 CO₂15% H₂S 80%

また油田での二次回収技術としてCO₂-EORへの期待が高い。
 CCSのみならず石油開発分野でも、CO₂やH₂Sの地層内挙動の
 モニタリングと、地層水、鉱物との地化学反応の予測、安定性
 の評価研究への期待が益々高まる。

地下水利用に始まり、石油ガスの生産、油ガス田への水圧入、
 シェール開発でのフラクチャリング、CO₂の地下圧入などいずれの産
 業活動でも、地層にはなんらかの変型が伴う。

CO₂-EORでは、圧入したCO₂が二次回収される油と共に地表に戻っ
 てくることが前提。地質モデルが肝要。

地層の変型と地表への影響のモデリングとモニタリングは今後益々
 重要となる。モニタリング技術を活用した貯留層変動評価技術の開
 発は、CCSや地中熱利用のみならず、未固結砂岩ガス層やオイルサ
 ンドや、フラクチャー貯留岩の開発にとって火急の課題となっている。

Ekofisk油田(北海)

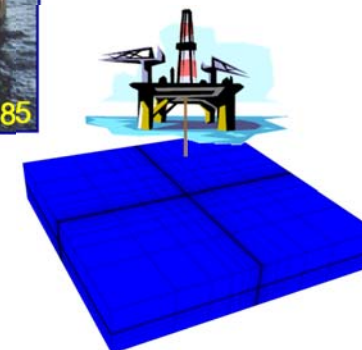


北海Ekofisk油田の地盤沈下

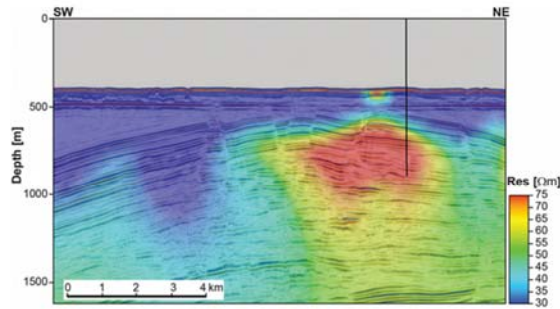


Ekofisk - 40 years of history and preparing for 40 more - Sindre Sørensen
 SPE Stavanger September 14th 2011
http://www.spe.no/stavanger/doc/Prezentasjoner/2011/Ekofisk_SPE_SVG_Sep_2011.pdf

水深70m、海底面下約3000mの白亜系
 チョーク層貯留岩油層からの生産により
 1999年までに海底が8m沈下。



Marine CSEM (mCSEM)
Controlled-source electromagnetic (CSEM) surveys



The Wisting oil discovery as imaged by 3D CSEM inversion (vertical resistivity), displayed on a 2D seismic line (seismic courtesy of TGS). The black line indicates the well location.

バレンツ海での油田発見 emgs社 ホームページ

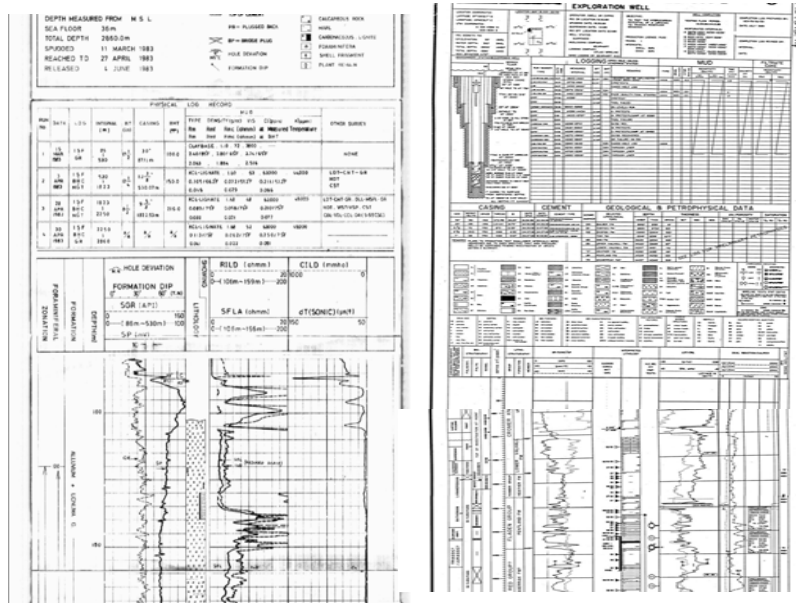
モニタリング技術としての物理探査については反射法地震探査以外に、屈折法、自然地震の利用や、電磁探査、重磁力測定と組み合わせた取得・解析技術の進歩に期待する。

産総研の地質情報データベースにより多くのデータが集積されることを期待します。

国内のボーリングデータ
アーカイブ構築がよりいっそう進むことを期待します。

国内の物理探査データ
石油会社、研究機関、大学が取得した震探が近い将来に使いやすい形式で整理・公開されて、多目的に用いられることを期待します。

坑井データ Composite Log



坑井データのアーカイブ

石油坑井データ
Composite Logのフォーマットは数十年間ほぼ世界共通。アーカイブ構築が世界的に進められており、特に米国や豪州、英国などでは坑井データは原則公開され、サービス会社から使いやすいGISデータベースとして提供されている。IHS International well data: 約70万坑。
米国の坑井はAPI番号で整理され、世界の石油坑井については近年IHS社がID番号をつけるGlobal Well Identifier Serviceを提唱している。

Unique Well Identifier (UWI): 坑井ID 番号石油坑井
API : 42-501-20130-03-00
IHS UWI : 100000611784
JAPEX JWELL : 21393808043

地質調査所 1979年伊豆・小笠原航海 GH79-4
シングルチャンネル反射法地震探査記録

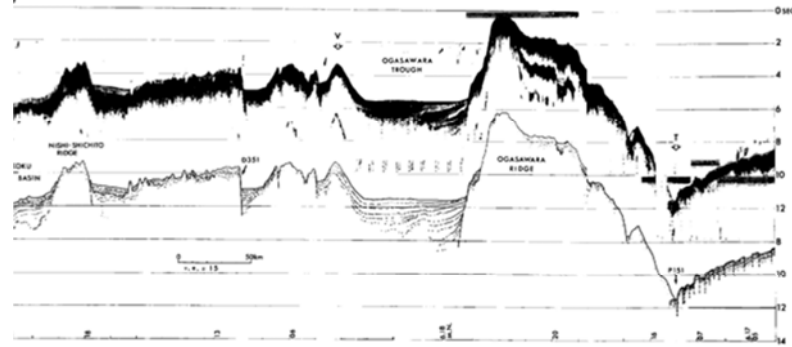
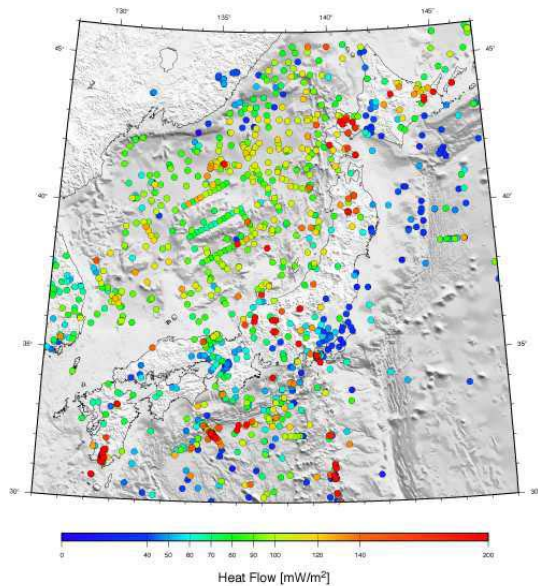
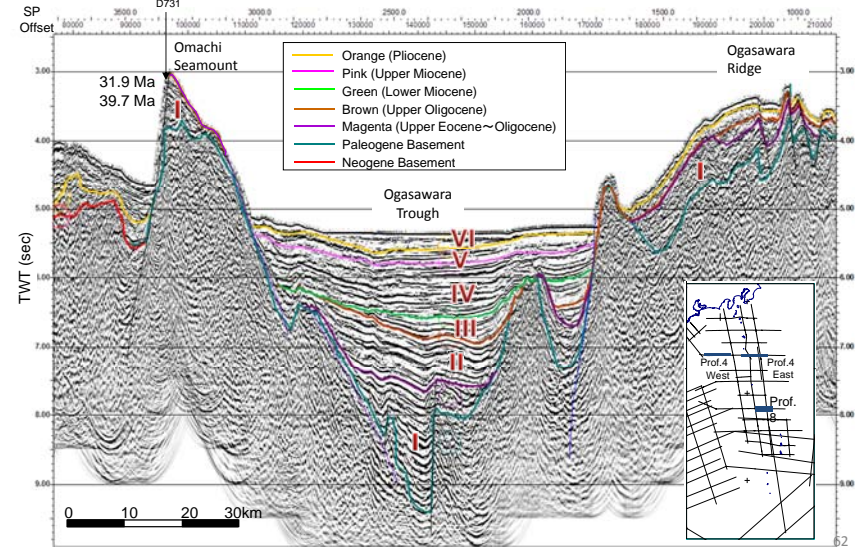


Fig. VI-1-e

地質調査所クルーズレポート
GH79-2, 3 and 4 Cruise Report No.14

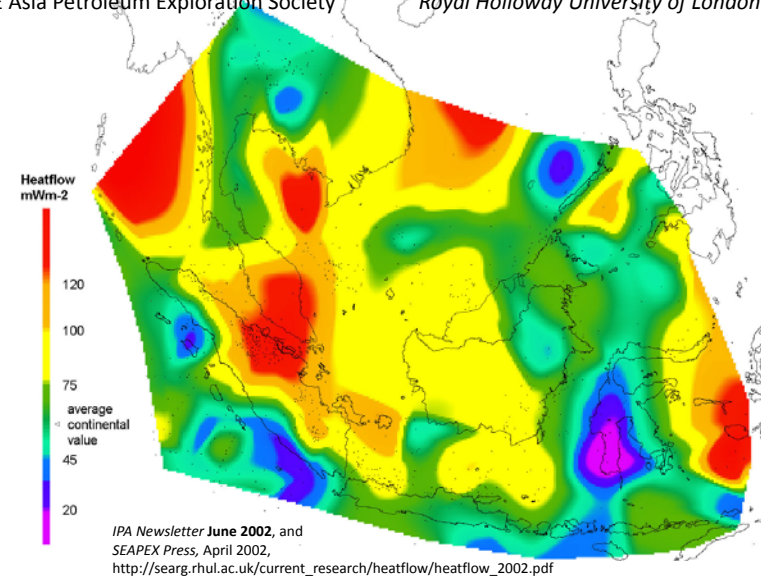
石油公団 小笠原 JNOC 79-4マルチチャンネル反射法地震探査
時間マイグレーション断面



地質調査総合センター
日本列島及びその周辺
域の地温勾配及び地殻
熱流量データベース

SAPEX:
SE Asia Petroleum Exploration Society

SE Asia Research Group, Department of Geology
Royal Holloway University of London



IPA Newsletter June 2002, and
SEAPEX Press, April 2002,
http://searg.rhul.ac.uk/current_research/heatflow/heatflow_2002.pdf

1. 地圏内の物質移動の解明

微生物起源ガス、地層水塩分濃度、埋没圧密
泥質岩中の流体移動
地層流体による鉱物の溶脱と沈殿
地圏内の地層流体移動のモデル構築

2. 地下流体の汲み上げや地下圧入の地表環境に及ぼす影響の定量的評価

地層の変型と地表への影響のモデリングと
モニタリング技術としての物理探査

3. 地下地質データのアーカイブ

ボーリングデータ
物理探査データ

Hoshi, K. and Okubo, K. (2010) : Hydrothermally Dissolved Dolerite Reservoir in the Akita Basin, Japan. AAPG Search and Discovery #50370, http://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2010/50370hoshi/ndx_hoshi.pdf.html

星 一良 (2013): 音波検層を用いた新潟堆積盆の圧密トレンドの検討とその構造発達史解析への応用—削剥量の推定、荒谷背斜の隆起と中越地震—. 地学雑誌, v.122, 90-115.

星 一良, 柳本 裕, 秋葉文雄, 神田慶太(2015): 反射法地震探査解釈による伊豆・小笠原弧堆積盆の地質構造と発達史, 地学雑誌 v.124, 847-876.

一丸裕二, 井上久隆 (2015): インドネシア、カンゲアン盆地における探鉱開発、石油技術協会誌, v.80, 19-26.

加藤 進 (1987): グリーンタフ貯留岩の地層流体 新潟地域グリーンタフ炭化水素鉱床の石油地質学的研究その2, 石油技術協会誌, v.52, 5, 33-42.

徳橋秀一 (2009): 最近のタービダイト研究事情

辻 隆司, 早稲田 周, 横井 悟 (2013): 珪質岩(珪藻質堆積物)の続成作用と炭化水素の移動・集積, 地学雑誌, v.122, 69-89.

早稲田 周, 岩野裕継, 浅利康介 (2011):: ガス炭素同位体組成からみた北蒲原地域における炭化水素の移動・集積, 石油技術協会誌, v.76, 43-51.

吉村公孝, 山本修一, 桑原徹, 正本美佳, 横井悟, 高橋利宏 (2004) : ナチュラル・アナログ的見地による我が国の化石塩水の特徴, 日本応用地質学会研究発表会講演論文集, 129-132.