

LWDについて

地球深部探査センター 真田佳典

「ガンマ線の値が上がってきた。壁も荒れてきている。この先も注意して見ていこう。」

ここは病院ではない。地球深部探査船「ちきゅう」の研究室で画面に刻々と映し出される地層のデータを見つめる科学者の会話だ(図1)。LWD(Logging While Drilling:掘削同時検層)とMWD(Measuring While Drilling)は、地層を掘削しながらリアルタイムで地層の物性値の計測や可視化を行う技術である(図2左図)。LWDの役割は、地層の様々な物性値を計測することであり、MWDの役割は、①孔井の方位・傾斜と自然ガンマ線の計測、②LWDとMWDで計測したデータの海上への転送、③ドリルビット近傍での掘削パラメータ(孔井内圧力・温度、ビット荷重、ビットトルクなど)の計測、④LWDとMWDに必要な電力の発電と供給である。LWD機器とMWD機器はドリルビットのすぐ上部に取り付けられ(図3、図4)、掘削直後の新鮮な地層の自然ガンマ線、電気抵抗、孔壁画像、音波速度、密度、孔隙率、核磁気共鳴などの様々な物性値を計測し、地層の解析・解釈が行われる(図4、表1)。LWD機器とMWD機器は、重厚な掘削パイプの荷重やねじれ、掘削中の絶え間ない振動、高温、高圧力の過酷な環境下での正確な動作と計測が必要とされる。



図1 船上の研究室でリアルタイムのLWDデータを見つめる科学者たち。

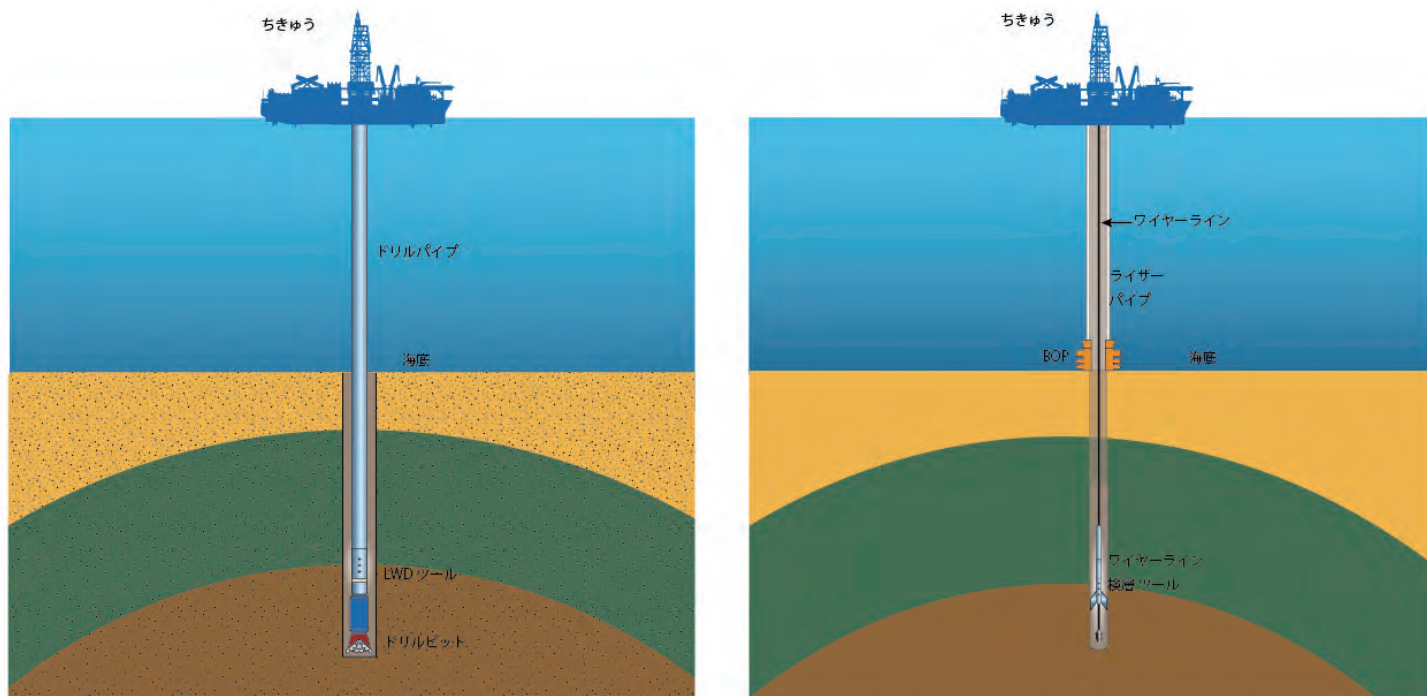


図2 LWD (左図)とワイヤーライン検層 (右図)の概念図. LWDは掘削しながらデータを取得する. ワイヤーライン検層は、掘削後の孔内に測定器をケーブルで下ろし、地層の物性値を連続的に取得する.



図3 ドリルビットとその上部に取り付けられたLWDのセンサ部.



図4 LWD 機器を入念にチェックするエンジニア. これらをつなぎ合わせ長いときには約 40m もの編成になる.

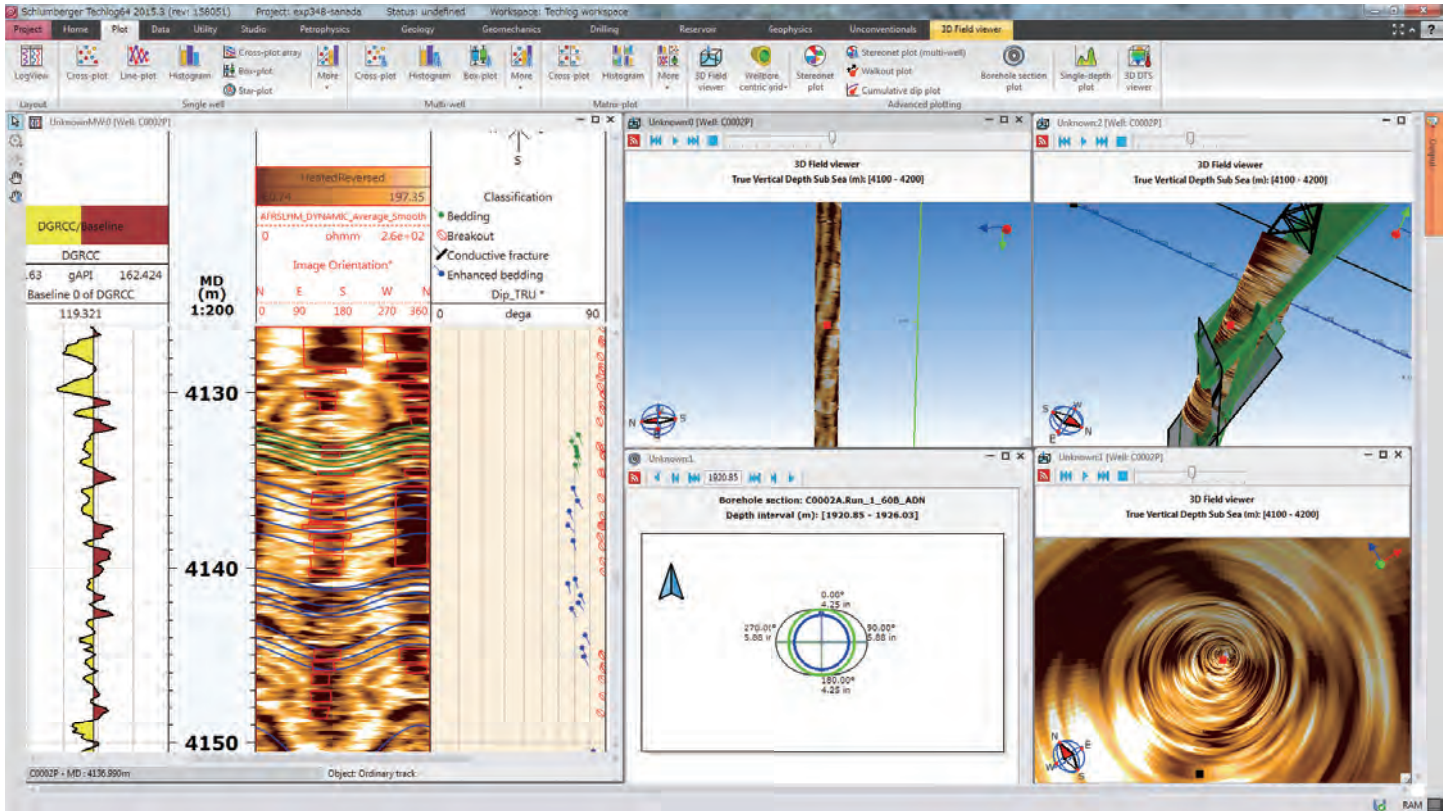
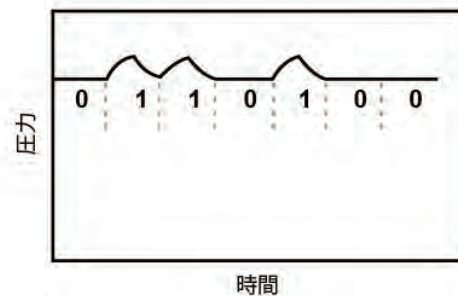
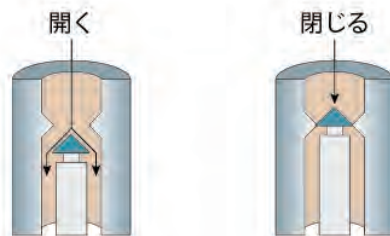


図5 コンピュータによる孔壁画像データ解析の様子。(ソフトウェア協力：シュルンベルジェ社 Techlog)。

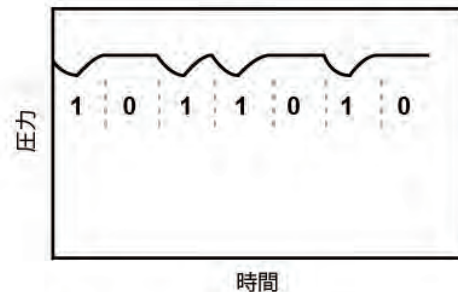
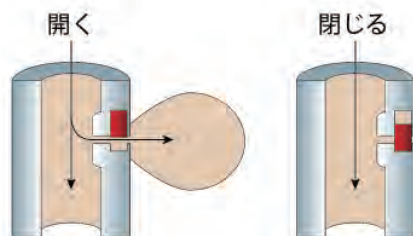
MWD機器には、3成分の磁気センサと3成分の加速度センサが備えられており、これらの値を計算することによって、MWD機器すなわち孔井の方位と傾斜を知ることができる。現在の掘削技術では、方位と傾斜を制御して掘削することが可能であり、目標へ向けての掘削や、掘削方向の修正、水平掘削なども可能である。MWD機器では、孔井内圧力・温度、ビット荷重、ビットトルクなどの掘削パラメータがモニタリングされることもある。そのデータは、もともとは孔内状況や掘削状況から掘削作業を安全かつ効率的に行うためのデータであったが、近年では、それらの値を地層の解釈に用いる試みもなされるようになってきた。

LWD機器の計測データは、掘削中はLWD機器内部のメモリに蓄えられ、掘削後はデータを取り出し、詳細な地質解釈に使われる。さらに、MWD機器を使って掘削中も船上に一部のデータをリアルタイムで転送している。地下孔内のMWD機器と船上は空洞で鋼鉄の掘削パイプでつながっているが電気や信号を送受信するケーブルはない(最近ではケーブル付きの掘削パイプもあるがまだ一般的でない)。掘削時には船上から掘削パイプの内部に高圧力の掘削泥水を注入し、ドリルビットで発生する掘りくずを地層と掘削パイプの隙間から排出する。また、掘削泥水の比重を調整して地層圧で掘削孔が崩れないようにしている。MWD機器はその掘削泥水の流れによって発電し、MWD機器とLWD機器に電力を供給する。孔内のMWD機器から船上にデータを転送するにはマッドパルスシステムが用いられる。MWD機器とLWD機器で計測されたデータの一部は、MWD内の弁で流路の開閉を行うことにより、掘削泥水圧力の変化として発信される(図6)。その流体圧の変化を船上の掘削泥水の圧力センサによって受信し、記録・表示する。IODP第343次研究航海(通称JFAST)では、水深6889.5mの海底下850mの地下からリアルタイムデータを受信した。

ポジティブパルス



ネガティブパルス



連続変調

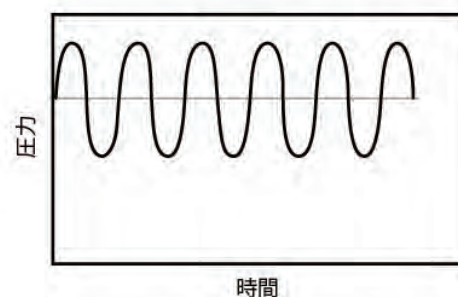
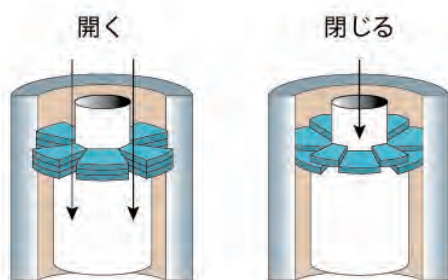


図6 マッドパルスシステムの概念図. MWD 機器内で弁の開閉によって、掘削泥水の圧力を変化させて、船上に信号を伝える。

LWDとMWDの技術発展により、地球内部へのアプローチ方法が増えることは、科学掘削の目的達成にも重要な意味を持つ。ワイヤーライン検層(図2右図)は、掘削後の孔内に測定器をケーブルで下ろし、地層の物性値を深度に沿って連続的に取得する検層手法である。高性能な検層機器の使用、掘削後の静かな環境での計測、ケーブルによる電力供給と大量データの転送などの長所がある一方で、崩れやすい地層や高傾斜の孔井では、孔内の検層機器が引掛かって下ろせなくなったり、抜けなくなったりする危険がある。鋼鉄の掘削パイプで検層機器を上げ下げするLWDでは、その危険性は軽減される。地震断層帯や付加帯では、地層が崩れやすいので、「ちきゅう」のIODP南海トラフ地震発生帯掘削計画やIODP第343次研究航海でLWDが使用され、成果をあげた。また、LWDをコア取得や長期孔内機器設置に先行して行うことにより、場所や深度の選定にも用いることができる。IODP南海トラフ地震発生帯掘削計画ではステージIとして南海トラフを横断して複数の孔井でLWDを行った。IODP第343次研究航海では、最初にLWDで断層の深度を推定し、コア取得と温度計の設置が行われた。このように科学掘削におけるLWDの貢献はさらに大きくなると期待される。

計測項目	計測方法	主にわかること
自然ガンマ線	ガンマ線カウンターで計測	粘土鉱物の量
電気抵抗	<ul style="list-style-type: none"> ・電極間の電流と電位差を計測 ・電磁誘導現象を計測 ・電磁波の位相の変化を計測 	<ul style="list-style-type: none"> ・岩石の電気抵抗値 ・地層水の有無
孔壁画像	<ul style="list-style-type: none"> ・小さな多数の電極で孔壁の電気抵抗を画像化 ・超音波の孔壁からの反射強度を画像化 	数ミリ～数センチの分解能で孔壁を可視化
密度	ガンマ線を地層に放出し、散乱後のエネルギーから計算	地層の単位あたりの重さ
中性子孔隙率	中性子を地層に放出し、減衰率から計算	地層の隙間の割合
音波速度	音波が伝わる時間から音波速度を計算	<ul style="list-style-type: none"> ・地層の堅さ ・孔隙率の計算
核磁気共鳴	核磁気共鳴現象の応答を分析	<ul style="list-style-type: none"> ・核磁気共鳴孔隙率 ・地層水(水素原子)の流動性 ・孔隙の大きさの分布

図7 検層で計測される主な項目, 計測方法, わかること.