

マルチビーム音響測深データを構成する時系列要素と そのサイズに関する比較の一例[†]

長澤亮佑^{*1}, 住吉昌直^{*2}

An example of data size comparison of time series components
obtained by multibeam echosounders[†]

Ryosuke NAGASAWA^{*1} and Masanao SUMIYOSHI^{*2}

Abstract

The typical data volume generated by multibeam echosounders has been increasing with the addition of advanced functions such as water column data acquisition. This report observes the contents of actual echosounder data files and discusses the factors influencing the volume. To compare data files acquired under different observation conditions, different aggregation methods are applied for two types of data records: external sensor data records, such as motion and positioning data, and observation data records, such as sounding and water column data. The former is expressed in the data growth rate per time, and the latter is per number of pings. The data files compared in this report show no significant differences in such per-unit data growth rates. Using the results, a model equation for data volume that can be generated by a multibeam echosounder is presented, and an example of predicting data volume independent of the observation conditions is obtained.

1 はじめに

マルチビーム音響測深機 (MBES: multi-beam echosounder) の生成するデータ量は増大の一途を辿っている。測深データのみに限っても、データの生成量は 1 日に数 GB のオーダーに及び、伝送や保管、処理といった収録データの管理が課題となってきた (Brown and Noll, 2003)。近年ではさらにシステムの高機能化が進み、バックスキッターデータ等の海底音響データに加え、各受波ビームのエコー記録をすべて収録するウォー

ターカラムイメージング機能の追加が一般的になっている。特にウォーターカラムイメージング機能の追加は、取得するデータの次元を従来の 2 次元 (発振数×ビーム数) から 3 次元 (発振数×ビーム数×レンジ方向サンプル数) へと拡大させ、データの伝送や処理に要する時間的コストを一段と増加させることとなった (Moszynski et al., 2013)。このような状況において、今日の MBES が生成するデータ量について定量的に議論することは、水路測量データの適切な管理への示唆を与

[†] Received August 28, 2023; Accepted October 3, 2023

* 1 大洋調査課 Offshore Surveys Division

* 2 技術・国際課 海洋研究室 Ocean Research Laboratory, Technology Planning and International Affairs Division

えるものとして有用であると考え、そこで本稿では、音響測深によって生成され得る典型的なデータ量を明らかにするための集計手法を検討する。そして、海上保安庁海洋情報部が取得した実データについて、その手法を適用した結果の一例を提示する。

海上保安庁の有する4隻の大型測量船「平洋」, 「光洋」, 「昭洋」及び「拓洋」は、それぞれ複数のMBESを装備し、幅広い深度の海域に対応した水路測量の能力を有している。本稿では、中深海用MBESとして「平洋」及び「光洋」に搭載されているTeledyne RESON社製HydroSweep MD/50並びに「昭洋」及び「拓洋」に搭載されているKongsberg Maritime社製EM710S、そして浅海用MBESとして「平洋」, 「昭洋」及び「拓洋」に搭載されているTeledyne RESON社製SeaBat T50-Rの3機種について、实例に則って、収録データのファイルを構成する時系列要素とそのデータサイズ比を確認する。なお、昨今のマルチビーム測深では、ポストプロセス用として測位動揺計による大容量データファイルの同時収録も一般的であるが、本稿ではそのようなデータは解析の対象とはせず、MBESが生成するデータファイルのみの議論に留めることとする。

2 データフォーマットの概観

本稿で扱う機種のうち、HydroSweep MD/50及びSeaBat T50-RについてはTeledyne RESON社の定める7kデータフォーマット (Teledyne RESON, 2019)、EM710SについてはKongsberg Maritime社の定めるEMデータフォーマット (.all/.wcd) (Kongsberg Maritime, 2018) に従って、それぞれMBESデータがファイルに収録される。いずれのファイルフォーマットも、測深データ、海底音響画像データ(バックスキッターデータやサイドスキャンデータ等)及びウォーターカラムデータのほか、測位動揺計や表面音速計といった外部センサからのデータ、そしてソナーシステムの各種設定パラメータを、各々の生成時刻によってタグ付けされたデータレコードの単位

で格納できるようになっている。これらフォーマットの基本的な構造について概観する。

2.1 7kデータフォーマット

SeaBatシリーズ及びHydroSweepシリーズのMBESで用いられるソナー制御・データ収録ソフトウェアSonarUIによって生成される形式である。拡張子はs7kで、バイナリ形式のファイルを構成するすべての種別のデータレコードが共通の構造に従って格納されている。具体的には、データの種別や生成時刻といったすべてのデータレコードに共通のメタ情報に始まり、それに続くデータセクションでは、測位データであれば緯度・経度、測深データであれば各ビームごとの測深値といった、データレコード種別に固有のデータを格納する。データレコードの構成を表した模式図をFig. 1 (a)に示す。また、データレコードの種別として代表的な例をTable 1の上段にまとめる。

2.2 EMデータフォーマット

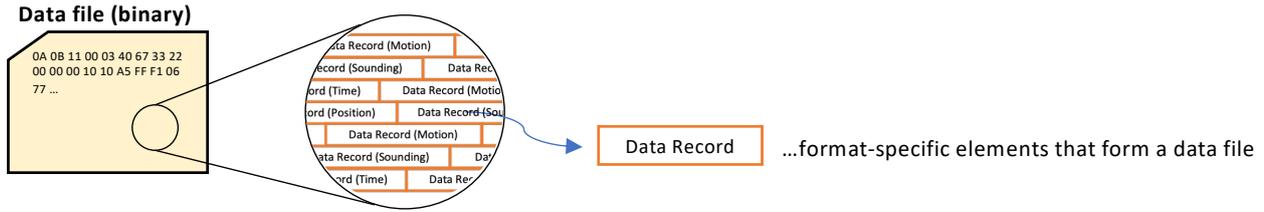
EMシリーズのMBESにおいて用いられるソナー制御・データ収録ソフトウェアSIS (Seafloor Information Systems)によって生成される形式である。拡張子は.allであるが、ソフトウェア上の設定により、ウォーターカラムデータのみ.wcdの拡張子を持つ別ファイルに出力することができる。バイナリ形式のファイルを構成するデータレコードは、7kデータフォーマットと同様、データの種別や生成時刻を記録する部分に始まり、データセクションが後に続く構造となっている。データの構成を表した模式図をFig. 1 (b)に示す。また、データレコードの種別として代表的な例をTable 1の下段にまとめる。

3 集計手法及び使用データ

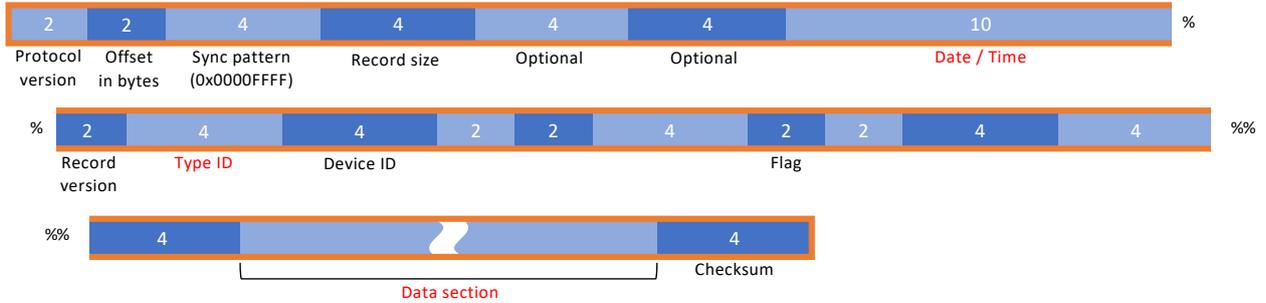
3.1 集計手法

海域で収録された拡張子.s7k及び.all/.wcdのMBESデータファイルについて解析を行った。解析用に作成したPythonモジュールを用い、ファ

An example of data size comparison of time series components
obtained by multibeam echosounders



(a) Data Record Structure - Teledyne RESON 7k



(b) Data Record Structure - Kongsberg Maritime EM



Fig. 1. Schematic showing the structure of a data file and the data records defined for the 7k format and the EM format. (a) The structure of the data record of Teledyne RESON 7k format. The rectangle indicates each data storage area that constitutes the data record, and the number indicates the number of bytes. (b) The structure of the data record of Kongsberg EM format.

図 1. データファイルの構造と各フォーマットについて定義されたデータレコードの構造を示した模式図。(a) は 7k データフォーマット、(b) は EM データフォーマットのデータレコードの構造をそれぞれ示した。矩形はレコードを構成する各データ格納領域を示し、数字はバイト数を表す。

イルに含まれているデータレコードのタイプ ID、データレコードの生成時刻及びバイト長をリスト化した。7k フォーマットの場合は“Protocol version”の先頭から“Checksum”の末尾まで (Fig. 1 (a)), EM フォーマットの場合は“Size”の先頭から“Checksum”の末尾まで (Fig. 1 (b)) をバイト長として数えた。また、本稿の主題は、各 MBES 機種ごとにデータレコード種別の相互のサイズ比を調べることにあるため、各データレコード種別のバイト長それ自体ではなく、各データレコード種別のバイト長の比率に主眼を置いた。

解析対象とするデータの選定に当たっては、調査海域の水深を極力揃えることとし、データセット間で水深の大小によるデータ量の大小差が大き

く生じないようにした。しかし、僅かな水深変化、レンジ設定、各機種のパルス長等の違いによって、発振間隔やレコードの記録長が変化し、データ量は容易に変化し得る。また、データレコードは一定の時間間隔で記録されるものと発振ごとに記録されるものの 2 種類に大別され、それらを区別せずにデータ量を比較することは不適切である。そこで、本稿では、水深やレンジ設定等に依存しないデータ比較を目的として、一定時間あたりデータ量と一定発振数あたりデータ量という 2 つの基準で集計することとした。また、このようにして得た実例をもとに、単位時間・単位水深あたりに生成され得るデータ量について実用的な予測を試みた。

Table 1. Examples of the major data record types defined for each of the 7k and EM data formats. Each data record type is identified by the ID number shown in the second column. The data record types are divided into five categories: sonar setting, external sensor data, sounding data, acoustic image data, and water column data. The fourth column shows the examples of the variables stored in each data record type.

表 1. 7k データフォーマットと EM データフォーマットそれぞれに定義されている主要なデータレコードの種別の例。各データレコードの種別は 2 列目に示した ID 番号によって識別される。また、データレコードをソーナーの設定に関するもの (setting)、外部センサデータ (external sensor)、測深データ (sounding)、海底音響画像データ (acoustic image) 及びウォーターカラムデータ (water column) の 5 つのカテゴリに分け、これを 3 列目に示している。4 列目には、各データレコード種別が格納する変数の例を示している。

Major data record types - Teledyne RESON 7k format

Data record type	Type ID	Category	Variables
Raw Detection Data	7027		detection point, intensity at detection point etc.
Segmented Raw Detection Data	7047	sounding	detection point, uncertainty, signal strength etc.
Beam Geometry	7004		beam direction angle, -3dB beam width
Side Scan Data	7007	acoustic image	side scan magnitude/phase series
Compressed Water Column Data	7042	water column	water column sample intensity/phase
Position	1003		latitude, longitude, height etc.
Sound Velocity Profile	1009	external sensor	sound speed profile, latitude, longitude
Roll Pitch Heave	1012		roll, pitch, heave
Heading	1013		heading
Sonar Settings	7000	setting	frequency, gain, Tx pulse info, absorption etc.
Match Filter	7002		start/stop frequency, window type, shading etc.
TVG Values	7010		gain values
Adaptive Gate	7014		gate angle, min/max sample number of gate limit
Built-In Test Environment Data	7021		built-in test environment status etc.

Major data record types - Kongsberg Maritime EM format

Data record type	Type ID	Category	Variables
Raw Range and Beam Angle	78(N)	sounding	two-way travel time, reflectivity, detection info etc.
XYZ	88(X)		xyz distance from transducer, reflectivity etc.
Seabed Image	89(Y)	acoustic image	sample amplitudes etc.
Water Column	107(k)	water column	water column sample amplitudes etc.
Attitude	65(A)	external sensor	roll, pitch, heave, heading
Clock	67(C)		date, time
Surface Sound Speed	71(G)		sound speed, time recorded
Position	80(P)		latitude, longitude etc.
PU Status Output	49(1)	setting	sensor input status etc.
Runtime Parameters	82(R)		Tx pulse info, Rx beamwidth, coverage etc.
Sound Speed Profile	85(U)		sound speed, depth recorded, time recorded

3.2 使用データ

実海域で取得されたソーナーデータを MBES 機種ごとに 1 つずつ選定し、解析対象とした。選定したデータの概要を Table 2 に示す。いずれのデータファイルについても水深 100 - 150 m 程度の範囲で取得されたものである。使用周波数帯は 55 - 200 kHz と機種によって異なるが、水深に差が少ないことから発振頻度はいずれも 2 - 3 Hz 程度で収まっている。受波ビームの生成数は、

EM710S は 256, HydroSweep MD/50 は 313, SeaBat T50-R は 1024 となっている。測深データ及び海底音響画像データは受波ビームの数だけサンプルを記録するため、ビーム数の違いはデータ総量に影響を与える。ウォーターカラムデータについては受波ビームそれぞれに対してレンジ方向に音圧レベルを細かくサンプリングするため、ビーム数、水深、レンジ方向のサンプリング頻度等の違いによる影響は顕著となる。

Table 2. List of data files used for analysis in this report and their various settings during data acquisition.

表 2. 本稿で解析対象として用いたデータファイルと、そのデータ取得時における各種設定の一覧。

Data files used for the analysis

No.	Instrument used	Date	Water depth	Nominal frequency	Ping repetition rate	Receiver beams	Water column data compress
1	SeaBat T50-R	2023.01.20	100 - 140 m	200 kHz, CW	average 3.2 pings/s	1024	8 bits, downsample by 2, phase data not included
2	HydroSweep MD/50	2022.01.13	130 - 150 m	55 kHz, CW	average 1.9 pings/s	313	8 bits, downsample by 6, phase data not included
3	EM710S	2022.12.01	130 - 150 m	70-90 kHz, CW	average 2.7 pings/s	256	8 bits (default by format), phase data not included

また、データ収録に SonarUI ソフトウェアを使用する SeaBat T50-R 及び HydroSweep MD/50 の場合、ウォーターカラムデータの圧縮率についてのユーザ設定により、レンジ方向のサンプリング頻度を下げ、レンジ方向の解像度を粗くすることが可能である。設定値は Table 2 の最右列に示したとおりであるが、これらについては第 4 章で言及する。

4 集計結果及び考察

4.1 データレコード構成の概観

Table 2 に示した 3 つのデータファイルそれぞれについて、収録されたデータレコードの様子と、それらのサイズ比率を概観する。

4.1.1 SeaBat T50-R データの一例

データファイルの断片を Fig. 2 (a) に、データファイル中すべてのレコードについてのデータサイズ比を Fig. 2 (b) に示す。Fig. 2 (a) において網掛けされている範囲が 1 秒間に相当する。動揺・測位データレコードである ID:1003 “Position”, ID:1012 “Roll Pitch Heave”, ID:1013 “Heading” と、表面音速データレコードである ID:7610 “Sound Velocity” が高頻度で繰り返されている。これらは一定の伝送レートで各センサシステムからデータが送られ、収録データファイルに書き込まれている。他方、測深データレコードである ID:7027 “Raw Detection Data” については発振 1 回につき 1 つのエントリが記録されている。同様に、海底面の音響画像のデータレコードである ID:7007 “Side Scan” や、ウォーターカラムデータレコードである ID:7042 “Compressed Water Column” についても測深データレコードと同時

に生成されている。その他、ソーナーの設定パラメータを格納する ID:7000 “Sonar Settings” 等、外部センサデータや観測データ以外の様々なデータレコードも散発的に記録されている。

Fig. 2 (b) に示すデータレコード別サイズ比は、測深データレコードである ID:7027 “Raw Detection Data” の総量を $\log_{10}[\text{bytes}] = 0$ として規格化したものである。図から読み取れるように、ID:7007 “Side Scan” やゲイン値 ID:7010 “TVG Values” は測深データレコードとほぼ同量のサイズをもつ。これらは海底面の散乱強度に関連したデータレコードであり、測深データレコードと同じ次元（発振数×ビーム数）をもつことを考えれば、整合的な結果であると考えられる。また、動揺・測位や表面音速のデータレコードはサイズが小さく、測深データレコードと比べ 2 桁程度小さい、すなわち 100 分の 1 程度のデータ量となっている。ウォーターカラムデータレコードは、測深データレコードよりも格段に大きなデータ量をもつ。これは発振数×ビーム数の 2 次元に加え、レンジ方向へのサンプル数が 3 つ目の次元として加わるためである。このデータファイルではウォーターカラムデータレコードは特に大きな容量を占め、測深データに対するサイズ比は 2 桁台すなわち 100 倍程度となっている。

4.1.2 HydroSweep MD/50 データの一例

データファイルの断片を Fig. 3 (a) に、データファイル中すべてのレコードについてのデータサイズ比を Fig. 3 (b) に示す。Fig. 3 (a) において網掛けされている範囲が 1 秒間に相当する。SeaBat T50-R と同様に、動揺・測位データレコードである ID:1003 “Position”, ID:1012 “Roll Pitch

(a) A slice of a EM710S data file (for 1 second)

time	ID	Type name	Size	time	ID	Type name	Size	time	ID	Type name	Size
0:26:27	88	XYZ	7.9 kB	0:26:28	89	Seabed Image	19.4 kB	0:26:28	88	XYZ	7.9 kB
0:26:27	78	Raw Rng. & Beam Ang.	6.4 kB	0:26:28	107	Water Column	62.2 kB	0:26:28	49	PU status output	0.1 kB
0:26:27	89	Seabed Image	18.6 kB	0:26:28	107	Water Column	62.5 kB	0:26:28	65	Attitude	1.2 kB
0:26:27	107	Water Column	62.3 kB	0:26:28	107	Water Column	52.1 kB	0:26:28	67	Clock	0.0 kB
0:26:27	107	Water Column	61.9 kB	0:26:28	88	XYZ	7.9 kB	0:26:29	80	Position	0.1 kB
0:26:27	107	Water Column	52.8 kB	0:26:28	78	Raw Rng. & Beam Ang.	6.4 kB	0:26:29	78	Raw Rng. & Beam Ang.	6.4 kB
0:26:27	88	XYZ	7.9 kB	0:26:28	89	Seabed Image	19.3 kB	0:26:29	89	Seabed Image	19.3 kB
0:26:27	80	Position	0.1 kB	0:26:28	107	Water Column	62.3 kB	0:26:29	107	Water Column	62.2 kB
0:26:28	67	Clock	0.0 kB	0:26:28	107	Water Column	61.9 kB	0:26:29	107	Water Column	62.4 kB
0:26:28	80	Position	0.1 kB	0:26:28	107	Water Column	52.8 kB	0:26:29	107	Water Column	52.1 kB
0:26:28	78	Raw Rng. & Beam Ang.	6.4 kB								

(b) Data record volume ratio of a EM710S data file

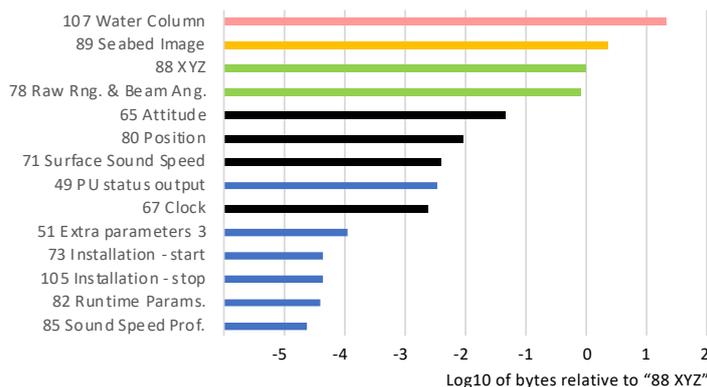


Fig. 4. Contents of the sonar data file obtained with EM710S listed in Table 2. (a) and (b) are in the same manner as in Fig. 2. The data volume in (b) is normalized by ID:88 the “XYZ” data record size.

図 4. Table 2 に示したデータファイルのうち、EM710S で取得されたものの内容。(a) 及び (b) は Fig. 2 と同様。(b) のデータサイズについては ID:88 “XYZ” のサイズで規格化している。

Heave”, ID:1013 “Heading が高頻度で記録されている。測深データレコードは ID:7047 “Segmented Raw Detection Data” が相当するが、海底面の音響画像データレコードは ID:7007 “Side Scan”, ウォーターカラムデータレコードは ID:7042 “Compressed Water Column” として測深データレコードと同時に生成されている。

Fig. 3(b) に示すデータレコード別サイズ比は、測深データレコードである ID:7047 “Segmented Raw Detection Data” の総量を $\log_{10} [\text{bytes}] = 0$ として規格化したものである。Side Scan は測深データレコードと同じオーダである。外部センサも測深データレコードより 1 – 2 桁小さい程度であり、同じ 7k データフォーマットに従う SeaBat とは大きな差異はない。ウォーターカラムデータについては、測深データレコードとのサイズ比は 1 桁台に収まっている。

4.1.3 EM710S データの一例

データファイルの断片を Fig. 4 (a) に、データファイル中のすべてのレコードについてのサイズ比を Fig. 4 (b) に示す。Fig. 4 (a) において網掛けされている範囲が 1 秒間に相当する。ID:65 “Attitude”, ID:67 “Clock”, ID:80 “Position” が外部センサのデータレコードに相当するが、そのエンタリー数は上記 2 機種に比較して少なく、データ記録は低頻度である。測深データレコードには ID:78 “Raw Range and Beam Angle”, ID:88 “XYZ” が相当する。海底面の音響画像には、バックスキャッター値を記録した ID:89 “Seabed Image” が相当する。ウォーターカラムは ID:107 “Water Column” として 1 回の発振に対し複数のエンタリーが存在するが、これはデータ量に応じて分割されて記録されるためである。

Fig. 4 (b) に示すデータレコード別サイズ比は、測深データレコードである ID:88 “XYZ” の総量を

$\log_{10} [\text{bytes}] = 0$ として規格化したものである。“Seabed Image”のデータ量は測深データレコードと同程度のオーダ、ウォーターカラムデータのデータ量は測深データより1桁大きい程度である。また、動揺その他の外部センサ由来のデータ量についてはいずれも測深データより2桁以上小さい。

4.2 外部センサデータのサイズ比

動揺・測位データや表面音速データといった外部センサ由来のデータレコードについて、データ量の平均を取り、1秒間でのデータ生成量を算出した結果を Fig. 5 (a) に示す。ここで、図に示したデータの絶対量はあくまでも特定の収録データファイルについて集計した結果であり、各機種に固有の傾向を必ずしも反映したものではないことに注意されたい。外部センサデータレコードの1レコードあたりのサイズは、水深や発振数等に依らず、各データフォーマットがもつ固有の構造によって決まっている。そのため、Figs. 2 (a), 3 (a), 4 (a) から読み取れるが、例えば7kフォーマットの“Position”, “Heading”, “Roll Pitch Heave”, EMフォーマットの“Position”はいずれも0.1 kB程度であり、これはデータファイル全体を通じて一定値である。時間あたりのレコード数はシステムの設定により異なるため、その違いが Fig. 5 (a) で示した収録データファイルごとのサイズの違いをもたらす主要な要因であると考えられる。本稿で示したレコードファイルに限っていえば、いずれの機種についても外部センサデータレコードのデータ量は1秒あたり概ね 10^3 bytes, すなわち1 kBのオーダにあるようである。

4.3 観測データのサイズ比

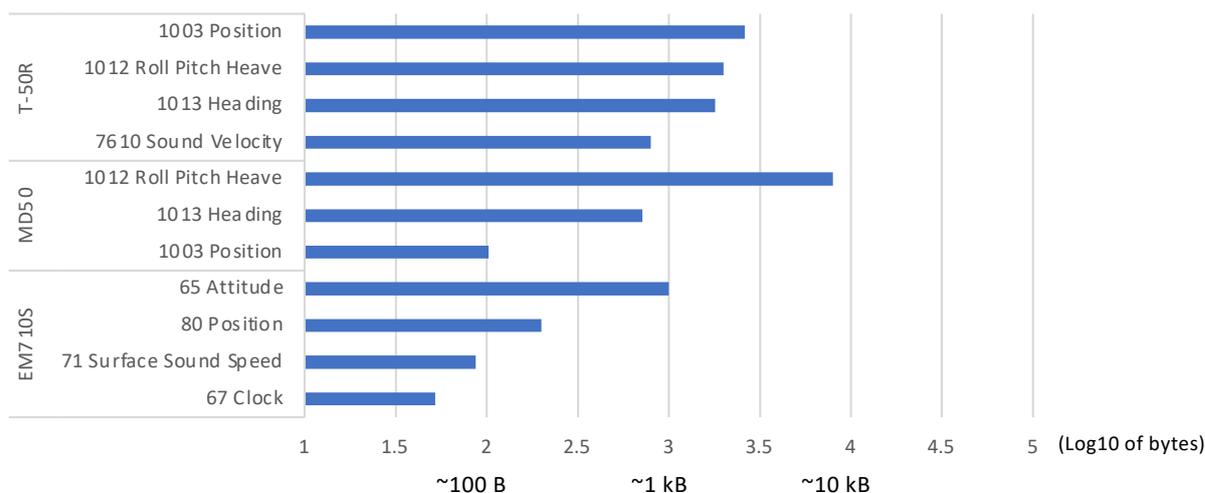
測深データ、海底音響画像データ及びウォーターカラムデータといった観測データに相当するデータレコードについて、データ量の平均を取り、発振1回あたりのデータ生成量にした結果を Fig. 5 (b) に示す。前節と同様、図に示したデータの絶対量はあくまでも特定のデータファイルについ

て集計した結果であり、各機種に固有の傾向を必ずしも反映したものではないことに注意されたい。

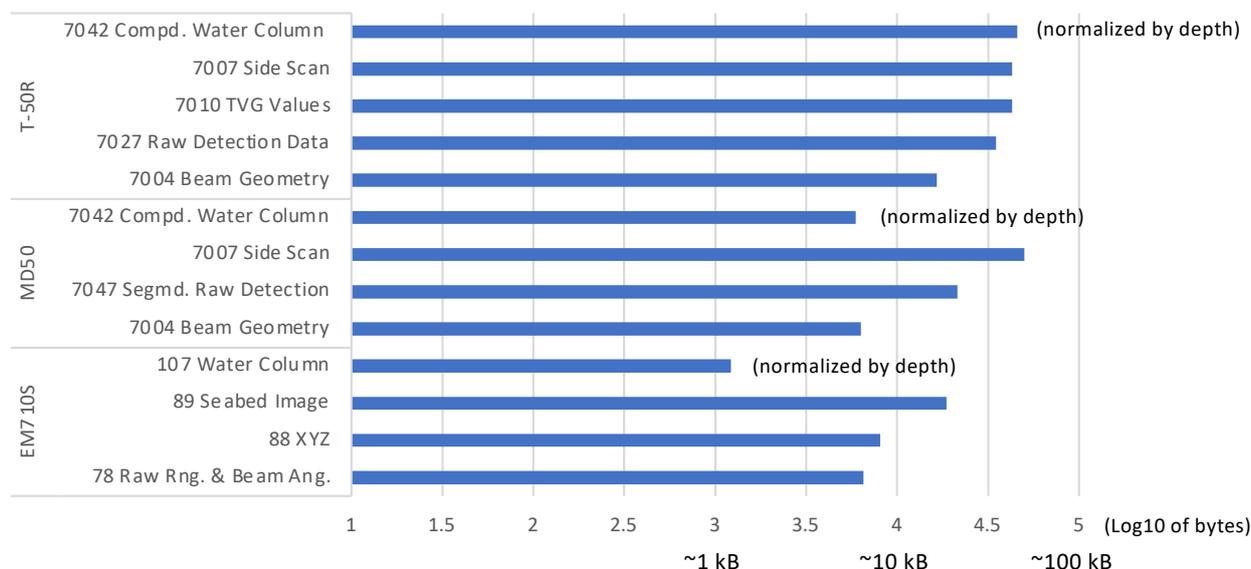
測深データと海底音響画像データは受波ビームの数だけサンプルを記録するため、1レコードあたりのサイズはフォーマットに固有の構造のほか、ビーム数に依存して決まる。Fig. 5 (b) については、発振1回あたり $10^3 - 10^4$ bytes すなわち1 - 10 kBのオーダにある。なお、1レコードあたりのサイズは水深には依存しないが、MBESの発振頻度は水深に応じて変化させることが一般的であるから、単位発振数あたりではなく単位時間あたりでデータ量を集計した場合には、深度変化の影響が現れると考えられる。

ウォーターカラムデータについては、受波ビームそれぞれに対してレンジ方向に音圧レベルを細かくサンプリングするため、1レコードあたりのサイズはフォーマットに固有の構造のほか、ビーム数、水深、レンジ方向のサンプリング頻度等に依存して決まる。そのため Fig. 5 (b) では、ウォーターカラムデータに限り、発振1回あたりかつ単位水深あたりのデータ生成量を示している。これは発振1回あたりの平均ウォーターカラムデータ量を、海域の平均的な水深値で割ることで簡易的に算出した。海域の平均的な水深値としては、T50-R データでは120 m, MD/50 データでは140 m, EM710S データでは140 mをそれぞれ採用した。なお、実際には、ウォーターカラムデータのレコードにはフォーマット固有の固定バイト長部分が存在するため、単純に水深に比例した量となるわけではない。本節での議論は、あくまでもデータ量のオーダ比較といった粗い議論を簡便に行うために単純化したものである。また、ウォーターカラムデータについてはT50-RとMD/50では同じデータフォーマットでありながらデータ量が1桁程度異なっており、これはFigs. 2 (b), 3 (b) で示した結果と整合的でもある。発振1回あたりかつ深度1 mあたりのウォーターカラムデータの生成量は、データ取得時の設定に依る部分が大きいと考えられるが、概ね $10^3 - 10^4$ bytes すなわち1 - 10 kBのオーダに収まるようである。

(a) Recorded volume of external sensor data (1 second average)



(b) Recorded volume of sounding and acoustic image data (1 ping average) and water column data (1 ping & 1 m average)



Note:
 The data presented are not intended to represent the specific sonar models.
 Typical data volume may vary on user preferences of data acquisition systems.

Fig. 5. A comparison of the data volume per unit for the data records in the data files shown in Table 2. The number of bytes is shown in a logarithmic scale. (a) The volume of the external sensor data records, such as motion, positioning, and surface sound speed, normalized by 1 second. (b) The volume of the observation data records, such as sounding, acoustic image, and water column data, normalized by 1 ping. For water column data, the data volume per ping is divided by the average water depth of the survey area to derive the data volume per 1 m in range.

図 5. Table 2 に示したデータファイルに含まれるデータレコードのうち、外部センサデータ及び観測データのそれぞれについて、単位あたりデータサイズを示した比較図。バイト数を対数スケールで表している。(a) 動揺、測位、表面音速といった外部センサ由来のデータレコードについて 1 秒あたりのデータ量で示したもの。(b) 測深、海底音響画像、ウォーターカラムといった観測データのデータレコードについて、発振 1 回あたりのデータ量で示したもの。ウォーターカラムデータについては、レンジ 1 m あたりの量に換算するため、調査海域の平均的な水深値でそれぞれ除した値を示している。

4.4 収録時設定によるウォーターカラムデータ生成量への影響

Figs. 2, 3, 4 に示すとおり、ウォーターカラムデータのもつデータ量は MBES が記録し得るデータレコードの中で最大であり、かつ、次点である海底音響画像のデータレコードや測深データレコードと比べ 10 倍以上大きい。すなわち、データファイル全体の 90% 以上をウォーターカラムのデータレコードが占めることになる。本稿で扱ったデータフォーマットのうち 7k フォーマットについては、ウォーターカラムデータ収録時の圧縮率が可変となっている。これにより、データ収録時のユーザ設定がデータ量を大幅に左右することとなる。本稿で示したデータファイルにおいては SeaBat T50-R と HydroSweep MD/50 とでウォーターカラムの収録時の設定が同一でなかったために Fig. 5 (b) に示すような顕著なサイズ差を生じたと考えられるため、これについて言及する。

Teledyne RESON 社の SonarUI ソフトウェアには 2 種類の圧縮手法が実装されており、ウォーターカラムデータ収録時の量子化ビット数の変更と、ダウンサンプリングファクタの変更が可能である。このうち、前者はウォーターカラムデータを取得する際の受音音圧レベルの量子化ビット数をデフォルトの 32 bit から 8 bit へと圧縮できる機能である。これにより、データレコードのサイズは単純計算で 25% に縮減される。また、後者はエコーデータのレンジ方向のサンプリング頻度を間引くことができる機能であり、間引く間隔は 2 - 10 サンプルの間で調節することが可能である (Teledyne RESON, 2017)。

本稿で示したデータファイルでいえば、SeaBat T50-R と HydroSweep MD/50 のデータファイルについて、量子化ビット数の 8 bit 化は共通して行われているが、ダウンサンプリングファクタについては T50-R が 2, MD/50 が 6 と異なっていた。同様の水深域・同様のサンプリング性能で観測した場合、サンプリング間隔が 3 倍となれば、生成されるデータ量は単純計算で 1/3 程度に抑制され

ると考えられる。また、受波ビーム数も T50-R では 1024, MD/50 では 313 と 1/3 程度であるため、 $1/3 \times 1/3 = 1/9$ 程度のデータサイズ比が生じたことが考えられ、これが Fig. 5 (b) に示した 1 桁程度のサイズ差をもたらす要因となったと考えられる。

なお、ダウンサンプリングファクタは、調査の目的を達成するために十分なウォーターカラムデータの解像度に応じて選択すれば良いが、MBES のレンジ方向の測定能力であるレンジ分解能を 1 つの目安として設定することができると考えられる。レンジ分解能 δR は、連続波 (CW; continuous wave) を用いたパルスを発信する場合、そのパルス長 T と海中の音速 c に依存して、 $\delta R = cT/2$ のように決まる。MBES で取得されるウォーターカラムデータのサンプリング間隔を調べ、これが δR と同程度になるようダウンサンプリングファクタを選ぶことで、ウォーターカラムデータのオーバーサンプリングを防ぐことができるため、データ量の縮減ができると考えられる。

5 議論：モデル化による生成データ量の予測

4 章で事例によって示したとおり、MBES のデータレコードそれぞれがもつデータ量は、採用するデータフォーマットの違いによる多少の差異はあるものの、機種を問わず、概ね共通したオーダーとなる。外部センサデータについては 1 レコードあたりのサイズはデータフォーマットで決まっており、これがどのような頻度でシステムに記録されるかによって総量が決まる。測深データや海底音響画像データは、データフォーマットとビーム数によってレコード単体のサイズが決まり、それが発振回数の分だけ積み重なることにより総量が決まる。ウォーターカラムデータは、データフォーマットとビーム数、さらにレンジ方向のサンプリング間隔によって決まる。この前提によれば、各データレコードの単位時間あたりのサイズを把握することで、累積観測時間に対する生成データ量の予測が可能である。そこで、機種やデータ取得設定に依存しない一般化した議論のため、データ量予測式のモデル化を本章で試みる。

まず、MBESの生成するデータ量に寄与する主要な成分として、測位や動揺、表面音速といった外部センサデータと、測深や海底音響画像、ウォーターカラムといった観測データに大別して考える。これ以外にソナーシステムの各種設定に関する様々なデータレコードが存在するが、測深データ等の主要なデータレコードに比べデータ量は支配的ではなく、また機種依存性が強い因此ここでは無視することとする。外部センサデータは一定の時間間隔で経時的に記録されることが一般的と考えられる一方、観測データは発振が行われるタイミングでのみ記録される。これらを統一的に扱い、単位時間あたりのデータ量の増大率に変換するには、発振のタイミングと経過時間を結びつける条件として発振頻度についての仮定が必要である。発振頻度はMBESの適切なレンジの設定によって決まるが、ここでは適切なレンジは水深や船速、ビーム幅により概ね決定されたと考える。進行方向の測深カバレッジに空白域を生じず、かつ連続する2つの発振間でカバー範囲が重複する状態を理想と仮定し、この理想の条件を満たすようにレンジが決まり、つまり発振頻度が調節されるものとする。具体的には、進行方向におけるビームフットプリント幅の半分だけ船が進むたびに、MBESが発振するという状況を仮定する。

モデル式を構成する要素を次のように定義する。まず、外部センサが生成する単位時間あたりデータ量の増大率を A [bytes/s]、観測データのうち深度に依らない測深と海底音響画像のデータ量の増大率を B [bytes/ping]、水深に依存するウォーターカラムデータのデータ量の増大率を C [bytes/ping/m]とおく。また、海域の水深を d [m]とおき、調査船の速力を v [m/s]、測深機の進行方向ビーム幅を θ [deg]とおく。このとき、進行方向のビームフットプリント幅は $d \tan \theta$ [m]で近似されるので、MBESの発振頻度は次のように表すことができる。

$$\text{Ping repetition rate} = \frac{2v}{d \tan \theta} \quad [\text{pings/s}]$$

これを用いて、時刻 t 経過後のデータ総量をモデル化した予測式として次式を得る。

$$\text{Data volume} \approx At + (B + Cd) \frac{2v}{d \tan \theta} t$$

いま、現実的なパラメータセットを上式に与えて、時間経過に伴うデータ増大の様子をシミュレートすることを考える。Fig. 5 (a) から、外部センサデータの生成率は1秒あたり概ね1000バイトのオーダー、また、Fig. 5 (b) から、測深データと海底音響画像データの生成率は発振1回あたり概ね10000バイトのオーダー、ウォーターカラムデータの生成率は発振1回・水深1mあたり概ね1000バイトのオーダーであると見積もることができる。これらを用い、次のように値を仮定する。

$$A \sim 10^3 \quad [\text{bytes/s}]$$

$$B \sim 10^4 \quad [\text{bytes/ping}]$$

$$C \sim 10^3 \quad [\text{bytes/ping/m}]$$

また、ビーム幅を $\theta = 1^\circ$ or 2° とし、船速を $v=6-12$ kt 程度の範囲で、水深を $d=50-1000$ m 程度の範囲でそれぞれ与える。このとき、予測される生成データ量の推移を描画した結果を Fig. 6 に示す。このような方法を用いることで、様々なデータ取得条件の下で観測時間に応じた生成されるデータ量の予測が可能であると考えられる。

Fig. 6の結果によれば、船速やビーム幅による差異はデータ総量のオーダーを変化させるまでの影響力をもたず、ウォーターカラムデータを取得する場合には特に、水深はデータ総量にほとんど影響を与えないことが分かる。これは、データ総量の予測式からもわかるとおり、MBESの発振頻度が海域の水深に概ね反比例するように調節されることで、水深によるウォーターカラムデータの増大と打ち消し合うように働くからである。なお、 C はレンジ方向のサンプリング頻度に比例する値であるが、Fig. 6上段の図はいずれも C が一定、すなわちサンプリング頻度が常にある一定値に固定されているという仮定のもとに描画したものである。この場合には、Fig. 6上段に示すように、

An example of data size comparison of time series components
obtained by multibeam echosounders

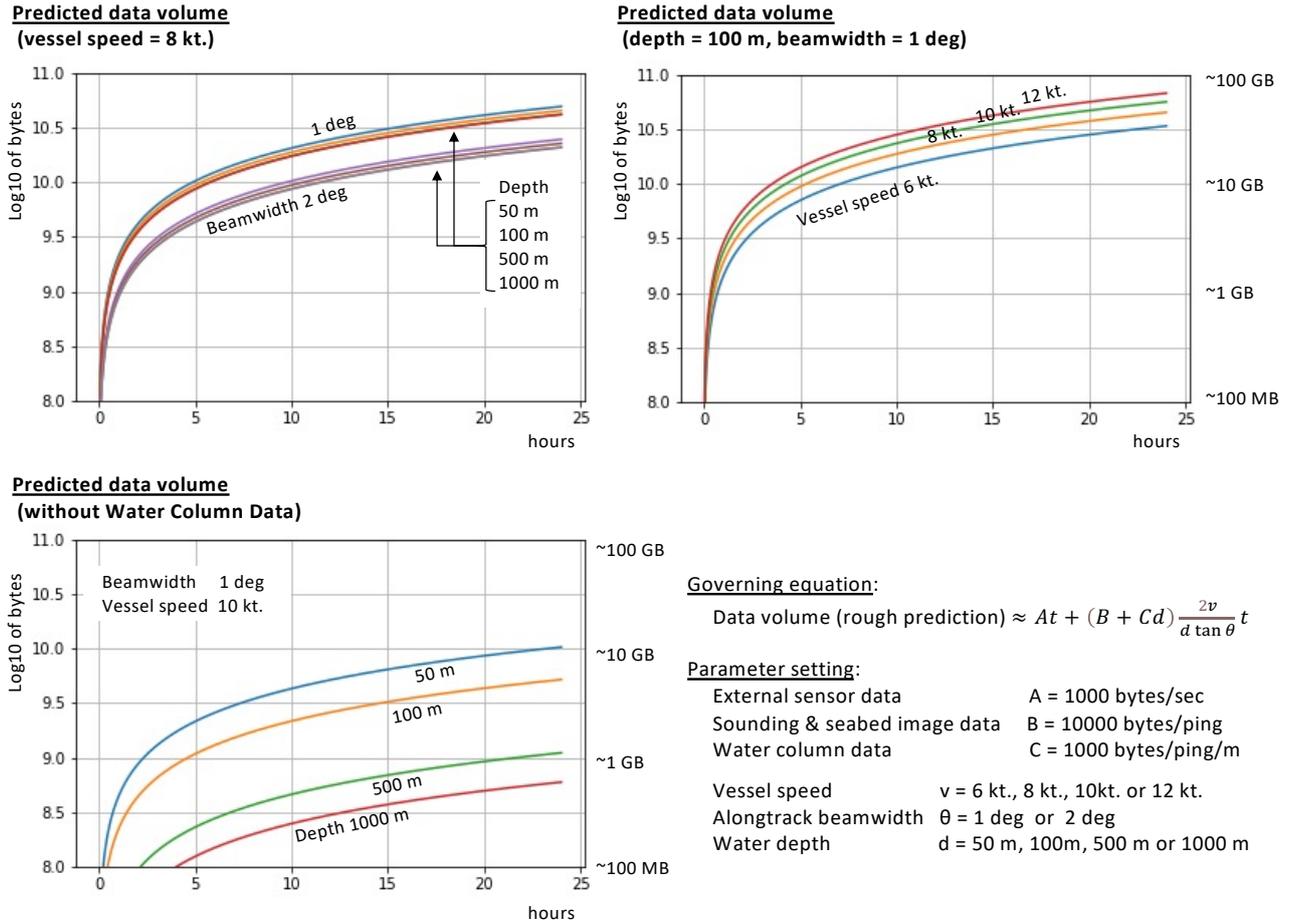


Fig. 6. An example of the predictions of the data volume generated by a multibeam echosounder using the model considered in this paper. The horizontal axis of each figure shows the elapsed time, and the vertical axis shows the predicted data volume on a logarithmic scale. The upper left compares the increase in data volume depending on beamwidth and water depth while the vessel's speed is set to 8 kt. The variation by the depth is relatively small, and the prediction lines are close to each other. The upper right compares the increase in data volume with a constant depth of 100 m and a beamwidth of 1 degree while varying the velocity. The lower left compares the data volume increase by water depth without water column data acquisition.

図 6. マルチビーム音響測深データの生成するデータサイズについて、本稿で検討したモデルを用いた予測の例。各グラフの横軸には経過時間をとり、縦軸には予測データ量を対数スケールで示している。左上図は船の速度を 8 kt とし、ビーム幅及び海域水深を変化させてデータ増大の推移を比較したもの。水深による変化は非常に小さく、予測線が互いに近接している。右上図は海域水深を 100 m、ビーム幅を 1 度とし、速度を変化させて比較したもの。左下図はウォーターカラムデータを取得しない場合におけるデータ量の推移を異なる海域水深の仮定の下に比較したもの。

データ総量は時間に比例して増大し、1 時間程度で容易に 1 GB オーダに達し、5 - 10 時間を超える頃にはすべてのケースにおいて 10 GB オーダに達すると予測される結果となる。ここで、サンプリング頻度を n 倍に変化させるとすれば C も n 倍され、データ総量は概ね時間とサンプリング

頻度に比例するような予測が得られる。一方、ウォーターカラムデータのサンプリングの間隔を MBES のレンジ分解能を目安に調節するとすれば、レンジ分解能に影響を与える MBES のパルス長は水深に応じて調節されることが一般的であることから、サンプリング頻度も水深に応じて変

化することとなる。この場合には、データ総量の水深への依存性が顕著となることが想定され、上記の予測式と比べて、浅海域ではデータ総量はより大きく、深海域ではより小さくなると考えられる。また、Fig. 6左下に示すように、ウォーターカラムデータを取得しない場合 ($C = 0$) には海域水深の増減によるデータ総量への影響は大きくなるが、収録時間が10時間を超えても浅海域であればデータ総量は1 GB オーダ程度に収まることが予測される結果となった。

6 おわりに

本稿では、MBES データを構成する単位としてのデータレコードに焦点を当て、その内容について明らかにするとともに、それらのサイズ比について議論するための方法の一例を示した。データレコード種別の特性に依じた分類をすることで、機種に固有の条件が存在することは考慮しつつも、それに依存しないデータ量の集計を試みた。本稿ではデータ取得時の諸条件を厳密には揃えずにデータファイルのサイズ比較を行ったが、いずれも集計する尺度を工夫することで、各データレコードがもつデータ量のオーダという点では概ね共通していることも認められた。

一方で、第5章で示した予測は、現実的と思われる条件を仮定した場合における単純化された議論であり、現段階では考えられる方法論の一例を示したものに過ぎない。海域での実観測時に想定されるデータ量を厳密に見積もろうとすれば、特定の機種によって得られた実データについて各レコードがもつサイズを把握し、第5章のモデル化の議論に当てはめた上で、その議論の妥当性を検証することが必要となろう。また、第4章で示した結果は、あくまでも海上保安庁が有する特定の観測システムに固有のデータ生成特性と、観測時における特定のパラメータ設定が反映されたものである。ユーザのもつシステムや観測環境に特有の設定によってデータサイズは容易に変化し得るため、特定のデータファイルから得られた一例に過ぎないという点に留意されたい。

観測機器の機種やデータフォーマットをはじめとする観測システム全体の固有特性が、生成されるデータファイルに影響を与えることは明らかである。しかし、音響測深機として共通する要素をメタ的に抽出することで、そのような固有の条件に左右されない議論も可能であると考えられる。マルチビーム音響測深データの取得におけるパラメータ設定基準の検討や、解析手法の検討など、さまざまな場面で機種固有の特性が影響する。しかしそこで取得されるデータファイルを構成するのは本稿で示したような各種データレコードであり、観測データや外部センサデータ、各種設定データなど、統一的に分類し得るものである。俯瞰的な立場からのデータ比較を試みた本稿の内容が、水路測量の今後の収録データの管理に際して示唆を与えるものとなっていれば幸いである。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり、有益なコメントを頂いた匿名の査読者に対し、ここに謝意を表します。

文 献

- Brown, J. and G. Noll (2003) Multibeam sonar data acquisition systems: a simplified conceptual model, NOAA Technical Memorandum NOS CS 3.
- Kongsberg Maritime (2018) Kongsberg EM series multibeam echo sounder - EM datagram formats, 850-160692/W, Kongsberg Maritime AS, Kongsberg, Norway.
- Moszynski, M., A. Chybicki, M. Kulawiak, and Z. Lubniewski (2013) A novel method for archiving multibeam sonar data with emphasis on efficient record size reduction and storage, *Pol. Marit. Res.*, 20, [1], 77-86.
- Teledyne RESON (2017) SeaBat Sonar UI User Manual, version 1.4.7, Teledyne RESON A/S, Slangerup, Denmark.
- Teledyne RESON (2019) Data format definition document - 7k data format, version 3.10,

Teledyne RESON A/S, Slangerup, Denmark.

要 旨

マルチビーム音響測深機が生成する典型的なデータ量は、ウォーターカラムデータ取得機能の追加をはじめとする高機能化によって増大してきている。本稿は、水路測量における収録データの管理についての示唆を与えるべく、海域で取得された実観測データファイルの内容を観察し、データ量を左右する要素について考察する。異なる観測条件の下に取得されたデータファイルを比較するため、データの構成要素である各種データレコードを、動揺や測位といった外部センサデータと、測深やウォーターカラムといった観測データの2種類に分け、それぞれに異なる集計方法を適用した。前者は時間的に増大する要素であるため一定時間あたりのデータ量の増大率で表し、後者は発振ごとに取得される要素であるため発振回数あたりのデータ量の増大率で表した。本稿で比較したデータ間では、そのような単位あたりデータ量の増大率に大きな差異は見られなかった。またその結果を用いて、マルチビーム音響測深機が生成し得るデータ量についてのモデル式を検討し、観測条件に依らない統一的なデータ量予測の可能性についての一例を得た。