

# エンジニアの知見を先進の数理科学技術と連携 船舶の価値を高める検査のイノベーション

## ClassNK

一般財団法人 日本海事協会

一般財団法人 日本海事協会（以下、日本海事協会）は、海上における人命と財産の安全確保および海洋環境の保全を使命として船級サービスを提供している第三者機関（船級協会）です。船級協会の業務は、船舶の安全を確保するための技術規則の制定や、建造中および就航後の船舶が規則に適合していることを証明するための検査の実施、船級の登録などです。

この日本海事協会を中心に、大型ディーゼル・エンジンやガス・エンジンおよびその関連機器メーカーの株式会社ディーゼルユナイテッド（以下、DU）、そして日本アイ・ビー・エム株式会社（以下、日本 IBM）が協働して推進しているのが、船舶の予防保全のあり方を根本から変革する高度なアナリティクスの実践です。その先に見据えているのは、データの活用によって船舶のライフ・サイクル・コストを低減し、“安全”や“省エネ”といった付加価値の提供、そして外国の海事産業との競争の中で日本が優位を保ち続けるための新たな海事産業のビジネス・モデルの構築です。

## 日本の海事産業の総力を 結集すべき時代へ

船舶は海上という過酷な環境で使用されるため、航海中にトラブルが発生した場合、ヘリコプターや救助用の船舶などを使っても簡単に駆けつけることはできません。エンジン停止で自力航行が不可能になり、陸へ向かって流されて座礁するといったような最悪の場合には、人命や財産に対する重大な危機や海洋汚染につながりかねません。そこで船舶や関連設備については、船級協会と呼ばれる第三者機関によって設計や保全における技術上の基準が定められています。

日本海事協会は、わが国に拠点を持つ国際船級協会です。船舶の安全を確保するための独自技術規則の制定や、建造中および就航後の船舶がこれらの規則に適合していることを証明するための検査を定期的実施し、船級（船の格付）の登録を行っています。また、船舶の登録国が国際条約に基づいて行う検査の代行、材料や機器等の承認業務、ISOに基づく品質および環境マネジメントシステムの審査登録、各種技術コンサルタント、その他海事業界に貢献するための各種研究開発など幅広い活動を行っています。

世界に数ある船級協会の中で日本海事協会に注目すべきは、その圧倒的な国際的影響力の大きさです。日本海事協会 研究開発推進室 主管である平田純一氏は、日本海事協会の業界に占める位置を次のように説明します。

「全世界で運航している約5万隻の船舶のうち、8,000隻以上の検査および船級登録を私たちが担っています。すなわち日本海事協会は全世界でトップのシェア（トン数ベースで約20%）をいただいています」

これには、造船所やパーツ・メーカーをはじめとする、関係企業の層の厚さが背景にあります。日本の海事産業には他国を圧倒する膨大な技術力とノウハウが蓄積されています。日本の船舶は故障率が低く、安心して運航を続けることができると高く評価されているのは、このような理由によるものなのです。また、日本海事協会から認証を得た船舶は価値が高く、リセール市場においても高い価格で取引されると言われています。

しかし、この地位に安閑としているわけにはいきません。例えば欧州の企業では、機関室を丸ごと一括管理するシステムが既に実用化されています。先進的な考えを持っている船主や海運企業は、そうしたシステムやサービスに強い関心を持っています。日本には、他国の企業に真似のできない高度な設



日本海事協会  
研究開発推進室  
シップリサイクル事業  
推進チーム 主管

平田 純一 氏  
Mr. Junichi Hirata

計能力や繊細な技術力を持つ企業が多数存在します。世界をリードする船級協会である日本海事協会は、日本企業が持つ高度な技術を取り込みながら他の船級協会に負けない先進的な取り組みを行い、日本の造船・海運業界全体の優位性を高めていこうと考えているのです。

## 業界の連携で開発された 船舶保守管理システム

日本の造船、海運の業界がこれまで通りに世界をリードしていくための取り組みについて、平田氏は次のように話します。

「日本海事協会のお客様である船主や海運会社に対して船舶の“安全”“省エネ”“環境保護”といった付加価値を提供するビジネス・モデルを構築したいと考えています。そのために、これからますます重要な基軸となるのはITです。船舶の状態監視や保守管理の共通基盤となるシステムやデータをクラウド上に集約し、船主や船舶管理会社のほか、造船会社、船舶機器メーカー、メンテナンス会社など、あらゆる関係者が共有できるようにすれば、海事業業はもっと活性化するに違いありません。その旗振り役を、第三者機関である日本海事協会が務めていきます」

この構想に基づいて2012年4月、「船舶保守管理システム」(図1)の構築を目標とした実証研究プロジェクトが立ち上がりました。

日本海事協会を中心に、大型ディーゼルエンジンなどのメーカーであるディーゼルユナイテッド(DU)、そして日本IBMが協働するこの実証実験のプロジェクトが目指すのは、運航中の船舶の状態監視や異常検知をリアルタイムで行い、起こりうるトラブルを予見して先手を打って対処する、予防保全における革新的な技術とサービスの開発です。



ことで、こうしたトラブルを早期発見し予防することが可能となります。まさに、そこに LC-A の狙いがあるわけです。

しかし、ここにも大きな困難があります。例えば、先ほど例にとったエンジン内の異常燃焼にしても、特定部位の温度センサーの数値が一定の閾値を越えたらアラートを上げるといった単純な方法で正確な判断が成り立つわけではありません。

「周辺に配置された圧力センサー、温度センサー、摩耗センサーなどから収集される多様な計測データとの相関関係から偏差を読み取るなど、複合的かつ多角的な観点からの分析が必要となります。船種や航路だけでなく、気象や海象といった条件が異なれば船舶に与える負荷が違ってくるため、汎用的な異常判定ロジックを作るのは大変難しい課題です。LC-A では、これまで蓄積してきた膨大なデータを網羅的に検討し、DU の扱うエンジンについては、実用上十分な異常判定ツールとそれに基づく自動状態診断機能を業界に先駆けて作り上げることができました。しかし、補機類や他社製エンジンまで含めた包括的な監視システムを作るのは人の手だけでは難しいと感じていました」（藤井氏）

そこで、船舶保守管理システムの実証実験プロジェクトにおいて採用されたのが、LC-A に組み込まれた船舶エンジンについてのきめ細かい知見を、IBM 東京基礎研究所が開発した異常検知技術 IBM Anomaly Analyzer for Correlational Data（以下、ANACONDA）と連携させるという方法です。ANACONDA は、完全に客観化された数理科学的なアルゴリズムによって多数の変数間にまたがる複雑な依存関係を解析し、機械学習の仕組みによって監視対象における「あるべき状態」を半自動的に導き出していきます。すなわち、この「あるべき状態」に対して「今の状態」がどれくらい乖離した位置にあるのかを判断することで異常の兆候を察知するわけです。

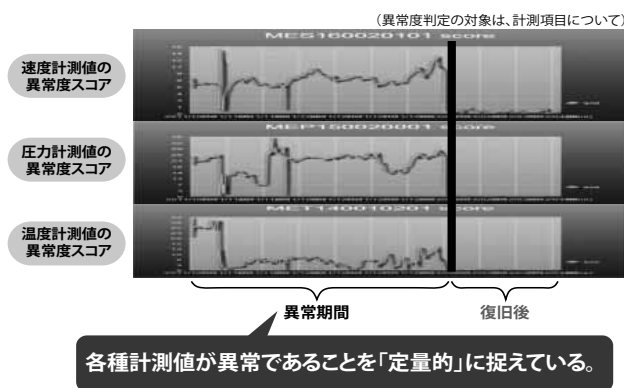


図 2. ANACONDA による計測値異常度判定例



株式会社ディーゼルユナイテッド  
技術部 次長 兼  
開発部 専門副部長

藤井 幹氏

Mr. Takashi Fujii

LC-A と ANACONDA の連携の仕組みを説明します。各種のセンサーや乗組員が手入力するデータは LC-A へと集約され、LC-A 内部の「計測値判定用マップ」と照会されて計測データの内容を診断し、判定を下します。その際、並行して ANACONDA 側でもあらかじめ設定された「あるべき状態」との乖離をチェックし、異常度スコアを算出します（図 2）。LC-A による計測データ判定と ANACONDA による異常度スコアはほぼ同義の情報として考えられます。これらの数値的な結果は LC-A の「状態診断ロジック」で振り分けられ、ユーザーのインターフェースには「状態診断結果」として表示されるほか、対策が必要な場合はトラブル・シューティングが指示されます（図 3）。LC-A は精度の高いトラブル・シューティングを指示できる業界唯一の製品です。この作業指示によって作業は船内で完結できるようになります。この「船内完結」こそが LC-A が提供する大きな価値の一つです。

藤井氏はこの仕組みについて、次のようにコメントします。

「部品が異常状態であるかどうかを LC-A が判断するに当たっては、正確な計測データの判定が欠かせません。ANACONDA は数値のばらつきに高い精度で対応できるため、データの異常値を正確に見つけ出します。LC-A と ANACONDA の親和性は非常に高く、発揮された性能は私たちの期待以上でした。計測データでは例外処理が大量に発生しますが、非線形制御などで汎用性をキープしつつ、例外処理にも対応するためのスマートな解決策を日本 IBM 東京基礎研究所のチームは提供してくれました」

さらに、データの判定だけでなく精度向上にも貢献しているのが、ANACONDA における機械学習のアプローチです。ある船舶に適用された ANACONDA の分析アルゴリズムは、個々の監視対象の特性に応じて「あるべき状態」を自ら学んでいくため、船舶の種類や運航条件の違いを問わない

網羅的で高度な異常検知が可能となるのです。予測される成果について、藤井氏は説明します。

「これは LC-A が、まさに求めていたテクノロジーでした。ANACONDA から上がってくるアラートのパターンと、実際に起こりうる事象を LC-A 上でマッピングすることで、船舶ごとに最適化された状態監視モデルを構築することができます。こうした LC-A と ANACONDA との相互補完連携により、状態監視モデルの作成に費やす工数は、おそらく5分の1程度に削減されるのではないかと思います」

では、肝心の精度はどうか。実際の船舶が運航中に収集した各種計測データをサンプルに使用してテストを行ったところ、熟練の専門家でも見落としていた異常事象を検知したケースもあり、高レベルの実用性を実証しています。

このように、LC-A と ANACONDA の組み合わせは「トラブル発生の船内完結が可能なトラブル・シューティング」「メンテナンス業務の支援」、そして「長期的視点での予防保全」の3つを実現した上で、「新しい検査方法」も提案しています。

「従来、5年ごとにエンジンを分解点検していましたが、LC-A と ANACONDA を導入すれば分解を待たずとも、エンジンの状態を随時に把握することが可能となります。これは検査のイノベーションです」（平田氏）

## 新たな洞察や知見を導く ビッグデータ分析へのアプローチ

こうした成果をもとに、日本海事協会が次のステップとして見据えているのが、日本の海事産業を構成するさまざまな機

器メーカーや造船所、さらに船主や船舶管理会社などのユーザーまでもが一体となった保守管理の枠組みの実現です。今回実証を行った船舶保守管理システムは、主にエンジンや機関室内の機器の予防保全を目的としてきましたが、LC-A と ANACONDA を連携させた状態監視モデルは、他のモジュールに関しても、同じ分析シナリオ、同じ IT のフレームワークを適用できます。あるいはタンカーやコンテナ船、バルクキャリアといったように船舶の対象を広げていくことも検討されています。こうした将来的な展開について、平田氏は次のように予測します。

「これまで船舶ごとや船主あるいは管理会社、メーカーごとや日本海事協会が別々に管理されてきた状態情報や保守管理情報をクラウド上で一元化して共有し、横断的な活用を促すことで、船舶全体のライフ・サイクル・コストを低減していくことができるのではないのでしょうか。この包括的なシステムによって機器の寿命の短縮を防ぎ、長期間安全に使えるようにすることで、保険料率の低下も実現できるでしょう。このようにお客様のコスト削減につながり、ひいては海事産業の競争力の向上に貢献できると考えています」

もちろん、異常検知や状態監視の精度をさらに高めていくことも重要なテーマです。そうした中で検討されているのが、センサーから収集した計測データだけでなく、より多様なタイプのデータを組み合わせ、これまで知らなかった洞察（気づき）や知見を創出していく、いわゆるビッグデータ分析のアプローチです。

日本海事協会では、船舶の故障に関する膨大なデータを保持しています。このデータと多種多様な外部のデータ、例

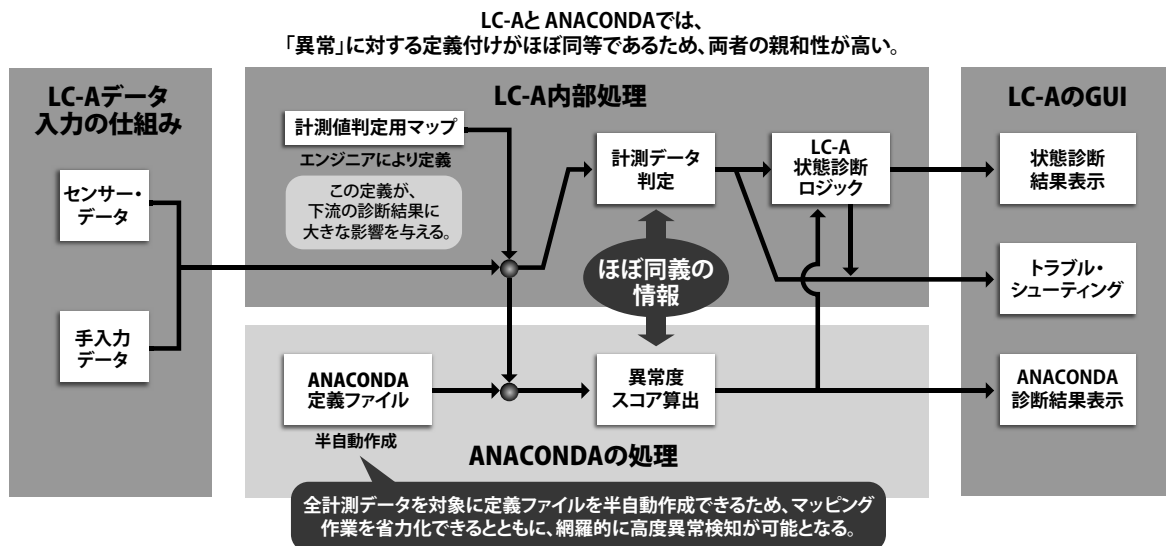


図 3. LC-A と ANACONDA の連携図

えば海象や気象など、外部環境が船舶に与えているさまざまな影響についてのデータを取り入れ、種類の異なる複数の船舶のデータとともに“横串”で分析することにより、故障時の条件や状態（海象や機器の状態）と故障内容の相関関係を体系化できると考えています。

「こうしたビッグデータ分析によって得られた知見を、新造船の設計や予防保全、省エネを追求した運航術といったアクションに生かしていけると考えています」（平田氏）

また、日本海事協会には、100年を超える歴史の中でさまざまな船舶に対して行ってきた検査や修理、補修、事故履歴などの膨大な情報の蓄積があります。

「これらの情報は非常に機密性の高い情報であり、ある企業の情報を他の企業に公開するといったことは絶対にできません。しかし、日本海事協会が中立的な立場から分析を行い、得られた結果を特定の企業に紐づけられない形の純粹な知見や知識として、オープン化していくことは可能なのではないかと考えています」

こうした活動を日本海事協会が活発に行っている理由として、5年ほど前から「検査に必要な研究開発」から、「船舶・海運業界全体にとって価値の高いソリューションの開発」へと方針転換したことが挙げられます。

「海事産業がより強い産業となって勝ち残っていくためにこのソリューションは有効です。しかし日本海事協会がリードを取って、エンジンの異常検知を高度化するだけでなく、発電

機やボイラーなど他の機器も対象とするソリューションへと範囲を広げていく必要があります。日本の海事業界には船主、造船所、メーカー、船級などの関係者が揃っています。業界内のコラボレーションを活性化することで、業界全体を巻き込んだ取り組みになります。またIBMのように、業界外の企業もこのコラボレーションの輪に加わっていただくことで、海事業界の中だけでは知ることのなかった技術とも出会うことができます。IBMの参画もこのようなポリシーにあっているからこそ実現しました」（平田氏）

業界内外とのコラボレーションでは、今回の「船舶保守管理システム」以外にも、工業プラントで使われていた3Dスキャナーの利用なども進めています。エンジンルームに新しい機械を搭載するときに、肝心の図面が見つからない場合があります。その場合でも3Dスキャナーを利用することで、エンジンルームの現在の状態を図面化することができます。

「船の業界では3Dスキャナーが利用されていませんでしたので、導入するための研究開発をさっそく開始しました。これも他業界とのコラボレーションで得られた知見であり、実績です」（平田氏）

日本海事協会の使命である海上の人命と財産の安全確保および海洋環境の汚染防止に向け、業界内外とのコラボレーションにより日本発の新たなグローバル・スタンダードとなるソリューションを提供するビジネス・モデルが、こうした取り組みの先に見えてきます。

## ANACONDA 開発者の視点

IBM 東京基礎研究所 (IBM Research-Tokyo) 井手 剛

このプロジェクトにおいて、IBM 研究部門は、センサー・データに基づく異常監視ロジックの実装に関与しました。センサー・データによる船舶の状態監視は、私たちがこれまで手掛けた中でも最も難しい部類に入ります。外航船が置かれる状況は、海象や水深といった外的要素に大きく左右されます。大型の船舶の状態監視システムは、しばしば工場の監視システムにたとえられますが、船舶の状態監視とは、安定稼働が不能な工場を監視するのに等しく、既存のあらゆるツールでは対処できない領域でした。

LC-Aを開発するために藤井様が取ったアプローチは、実はANACONDAの統計的機械学習の思想と大変よく似ています。LC-Aにおいては、異常事例を集めてそれをIF-THENルールとして蓄積するという伝統的なやり方ではなく、多大な労力を費やしてデータと過去の事例を網羅的に精査することで、汎用性の高い異常判定ロジックを構築しています。思想の類似のみならず、結果として得られた判定基準においても、変数間の相対的な関係に着目するということなど類似点が多く、最高のエキスパートが考えた最高のロジックが、実は統計的機械学習の観点からも合理性を備えているという、大変印象深い事実に出会いました。今回構築した状態監視システムは、その先進性、網羅性、そして機能において、世界的に類を見ないものであり、IBM 研究部門としても完成度のさらなる向上に向けて努力をしています。