

船級業務の高度化に向けた取り組み ～AI活用技術～

- 近年 計算機の性能向上や、情報技術の発展によりデータ収集が容易になったことを受け、**AIに注目**が集まっている。
- AIは大量のデータからAI自身が知識を学習することができるため、ビッグデータと組み合わせることで、**既存課題の解決**を図る取り組みや、**新たな価値の創造**を図る取り組みが様々な業界で盛んに行われている。
- **海事業界**においても**AI活用**が始まっている。
 - 機器の状態監視, 自動運航 等
- 船級協会として、**船舶の更なる安全性向上や効率化**に寄与するために、**検査・認証業務に対してAIを組み合わせる**ことで、既存サービスの価値向上や新サービスの提供など、**船級業務の高度化**を目指す取り組みを実施している。



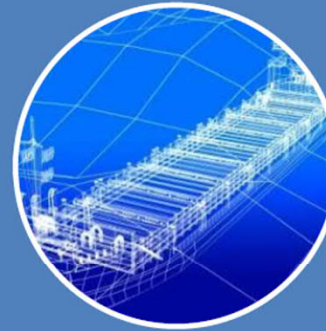
点検/検査の革新、高度化

- ・ドローン/ロボティクス技術の活用
- ・製造実績の見える化



船体及び機関の状態監視

- ・状態診断
- ・予兆検知
- ・予備品調達



デジタルツインを用いたシミュレーション

- ・デジタル水槽
- ・実海象における応答
- ・航路最適化
- ・工場デジタルツイン



次世代船舶/操船システムの開発

- ・操船支援システム
- ・自動着桟
- ・自律航行船

ICT技術の活用

出典: 2019年ClassNK秋季技術セミナー
「海事業界のデジタルトランスフォーメーションに向けて」

<AIによる船級業務高度化>

1. 可能性検証

- 船体構造部材の腐食衰耗予測
- 実船計測データを用いた船体構造の応力推定
- 船用エンジンの異常燃焼検知

2. 実施中の主な取り組み

- 損傷情報分析の高度化
- AIの性能評価

<AIによる船級業務高度化>

1. 可能性検証

- 船体構造部材の腐食衰耗予測
 - 実船計測データを用いた船体構造の応力推定
 - 船用エンジンの異常燃焼検知

2. 実施中の主な取り組み

- 損傷情報分析の高度化
- AIの性能評価

<研究背景>

- 腐食や衰耗の状況を把握するために板厚計測が行われている。得られた板厚計測データは腐食量推定や腐食予備厚の設定に活用されている。
- 一方で、近年発展しているAI技術は、様々なデータから数値を予測する回帰問題を取り扱うのに適している。腐食量推定に関しても、腐食に関連する様々なデータを収集しAIを活用することで、全面的な腐食に対する推定精度向上や、局部腐食の予測等が期待できる。

<目的>

- 腐食衰耗予測技術の高度化の可能性確認

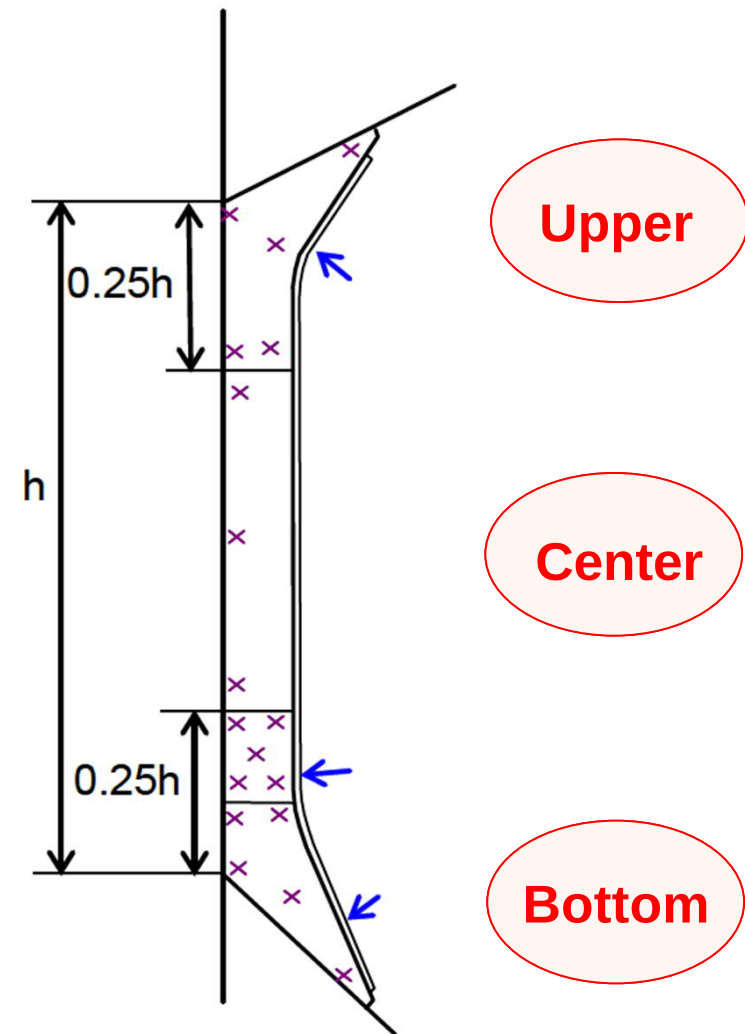
<腐食衰耗予測の対象>

《船舶》

- ばら積貨物船
- パナマックスサイズ
- 1990年以降建造

《対象部材》

- カーゴホールド内のホールドフレーム



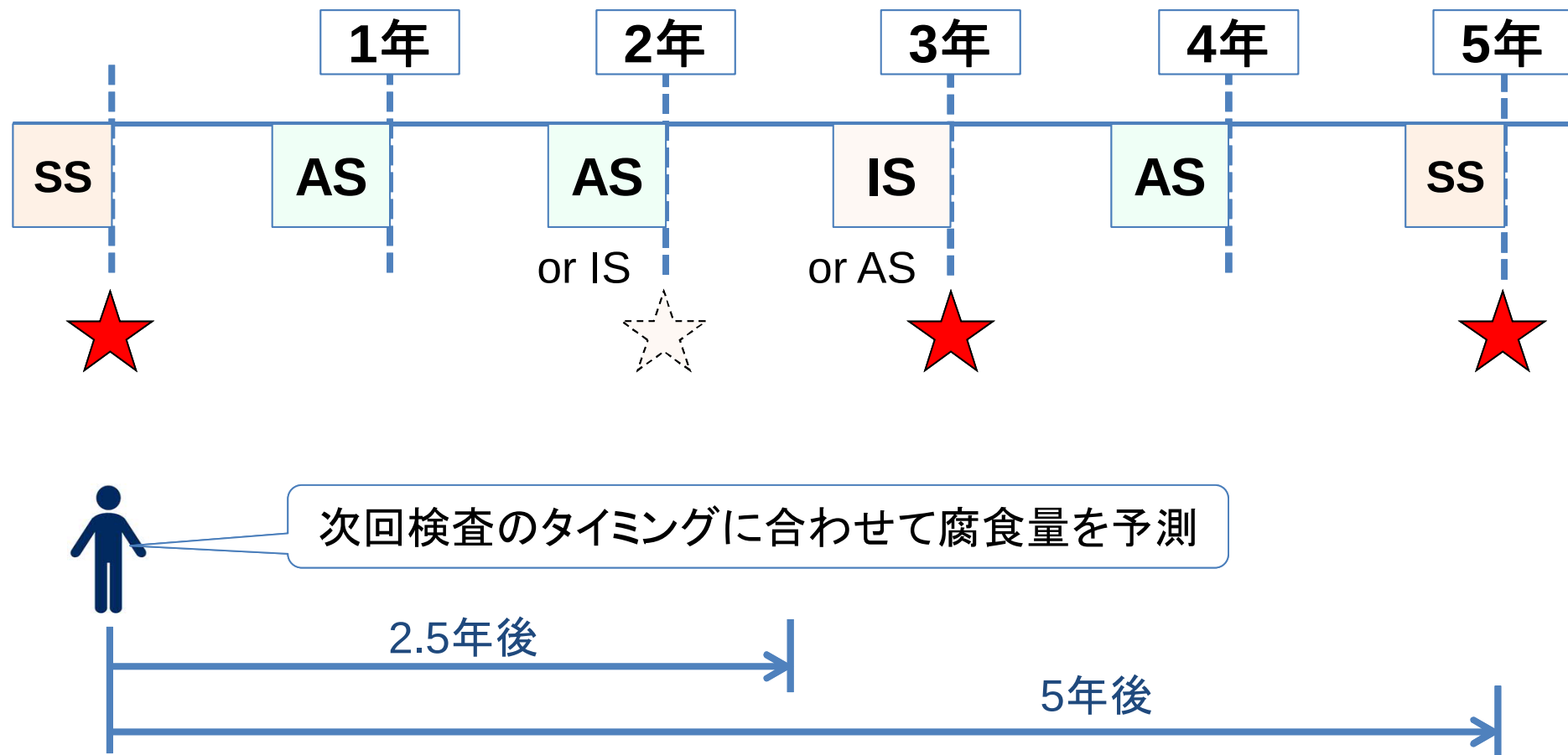
標準的な板厚計測部位

<腐食衰耗予測の対象>

AS : Annual Survey

IS : Intermediate Survey

SS : Special Survey

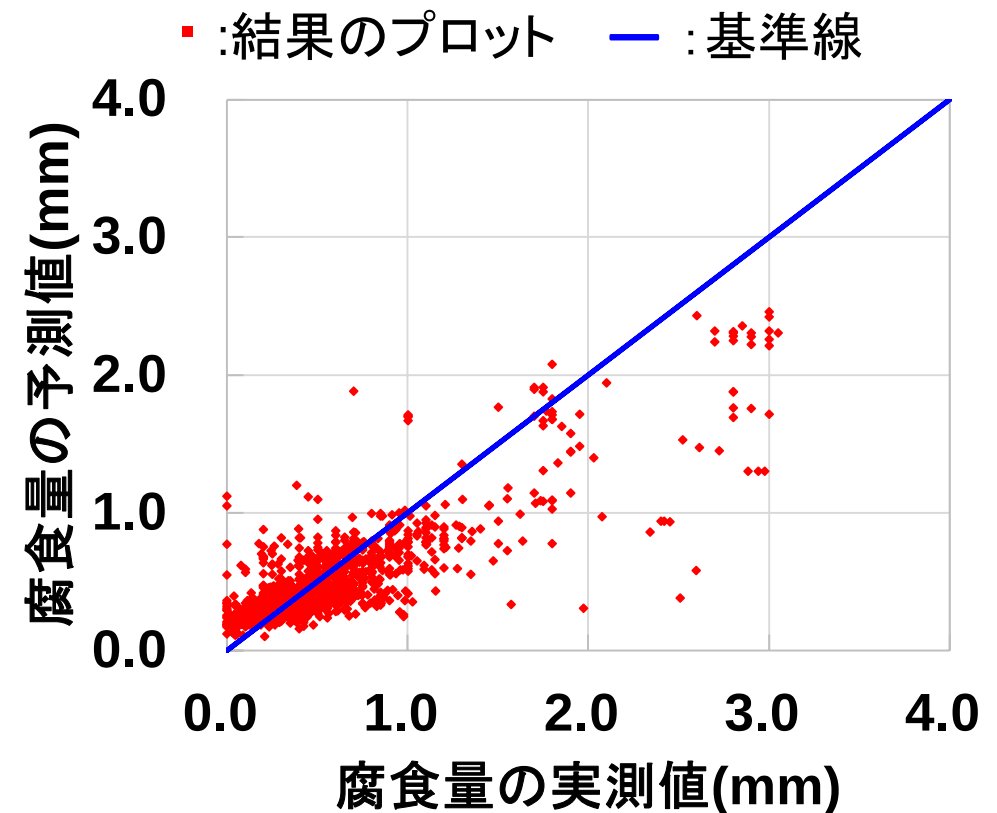


<腐食量予測AI作成>

- 板厚計測データを収集し，腐食量を予測するAIを作成
- アルゴリズムはディープラーニング
- 対象：ホールドフレーム
- 5年後の腐食量の予測結果

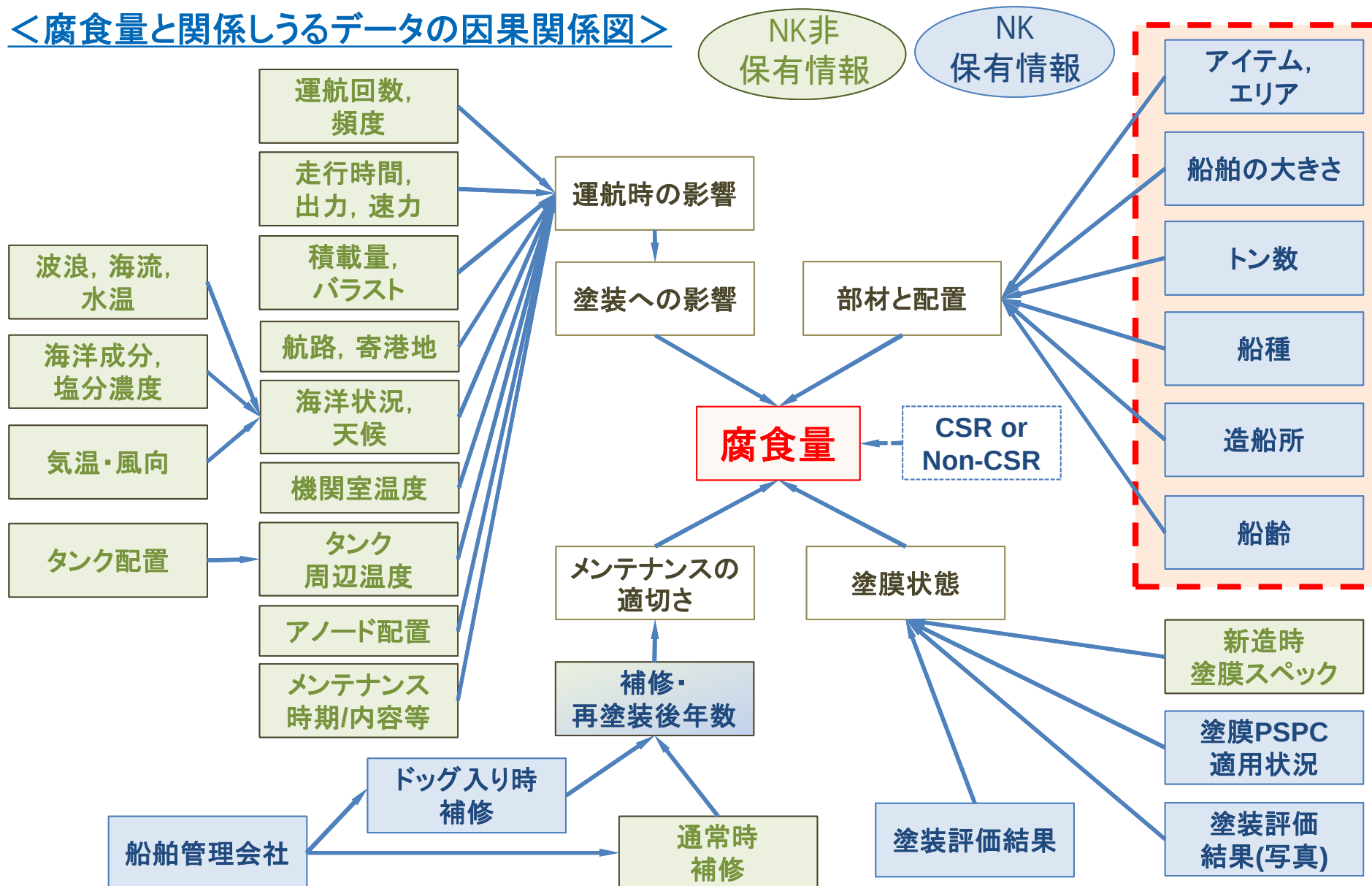
<予測結果について>

- 一定の相関関係がみられるものの，ばらつきが大きい。
⇒ データの種類・量に課題



腐食衰耗予測

<腐食量と関係しうるデータの因果関係図>



<収集した板厚計測データについて>

- 属人的なデータ入力・記入ルール（表記ゆれ，欠損データ）



- データの表現と形式を統一すべくデータ整理が必要 ⇒ 作業量 ↑
- 利用可能なデータの種類・量が減少 ⇒ 予測結果のばらつき ↑

ホールドフレームのデータサンプル

ID	LAST VISIT DATE	SHIP AGE	CMP	POSITION	ITEM1	ITEM2	ORIGINAL THICKNESS	GAUGE
694	2015/11/14	16.46	6CGH	Frames No 67 - 95	88	Web	15	14.6
694	2015/11/14	16.46	6CGH	Frames No 67 - 95		Face	16	15.4
659	2002/10/25	4.75	1CGH	All Hold Frames	FR-232	W1	15	15
659	2002/10/25	4.75	1CGH	All Hold Frames		F	16	15.9
657	2012/5/25	14.3	7CGH	Port	WEB – FR.No	42	13	12.7

<まとめ>

- 腐食量予測AIを作成し、実測値と予測値に一定の相関関係があることを確認。
- AI活用を検討するうえで、学習データの量と質の確保が重要。
例：塗装状態など腐食への影響が大きいと考えられる情報の入手
- 本来AIに期待したいのは、特定の条件が揃った場合に発生する局部腐食の予測。それを実現するためには、時間と腐食量の単純な2軸だけでなく、様々な要素を対象とした多軸での関係性をAIによってモデル化する必要がある。



AIを使いこなすためには、
業界における協調領域としてデータが集まる仕組みの構築が必要

<参照先>

- 令和1年 日本船舶海洋工学会 秋季講演会
「船体構造部材の腐食衰耗予測への AI 活用に関する研究」

<AIによる船級業務高度化>

1. 可能性検証

- 船体構造部材の腐食衰耗予測
- 実船計測データを用いた船体構造の応力推定
- 船用エンジンの異常燃焼検知

2. 実施中の主な取り組み

- 損傷情報分析の高度化
- AIの性能評価

<背景>

- 海事分野においても、船舶のIoT化が進んでおり、航行中の船舶の様々なデータが取得・蓄積できるようになってきている。
- 一例として、船体強度の評価や疲労被害度評価による予寿命予測、設計へのフィードバックなどが検討されている。
- 船舶が受けた実際の応力の履歴を把握することは重要だが、以下のような課題がある。
 - センサー設置やメンテナンスなど、応力計測にはコストがかかるため、需要のある計測箇所すべてに対して応力計測を行うのは困難。より少ない計測箇所で、船全体の応力を把握できることが望ましい。
 - 構造解析を取り入れた応力推定の研究も行われているが、計算時間や、解析に必要な情報の入手などが課題。未だ確立した応力推定手法はない。
- 機械学習を用いることで、実船計測で取得している様々な計測値から船体構造に生じる応力を推定可能と思われる。

<目的>

- 実船計測データ及び機械学習を活用した応力推定の実現可能性の確認

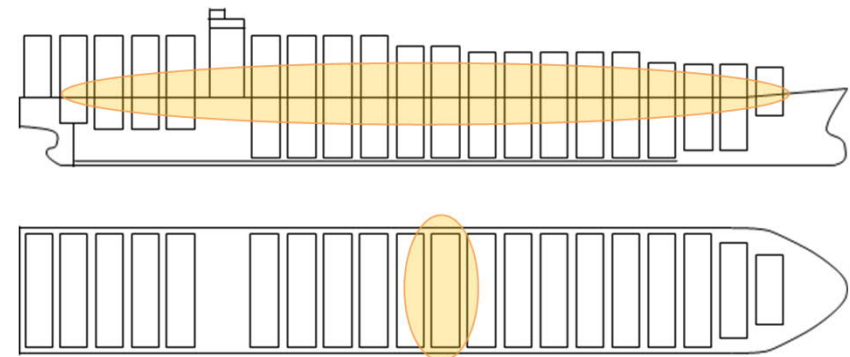
船体構造の応力推定

<研究対象とする船舶>

要目	
船種	コンテナ船
航路	東南アジア～欧州 東南アジア～北米
全長	Abt. 334.5 m
幅	45.6 m
深さ	24.4 m
計画満載喫水	14.0 m
総トン数	Abt. 97,000 GT
貨物積載能力	8,600TEU

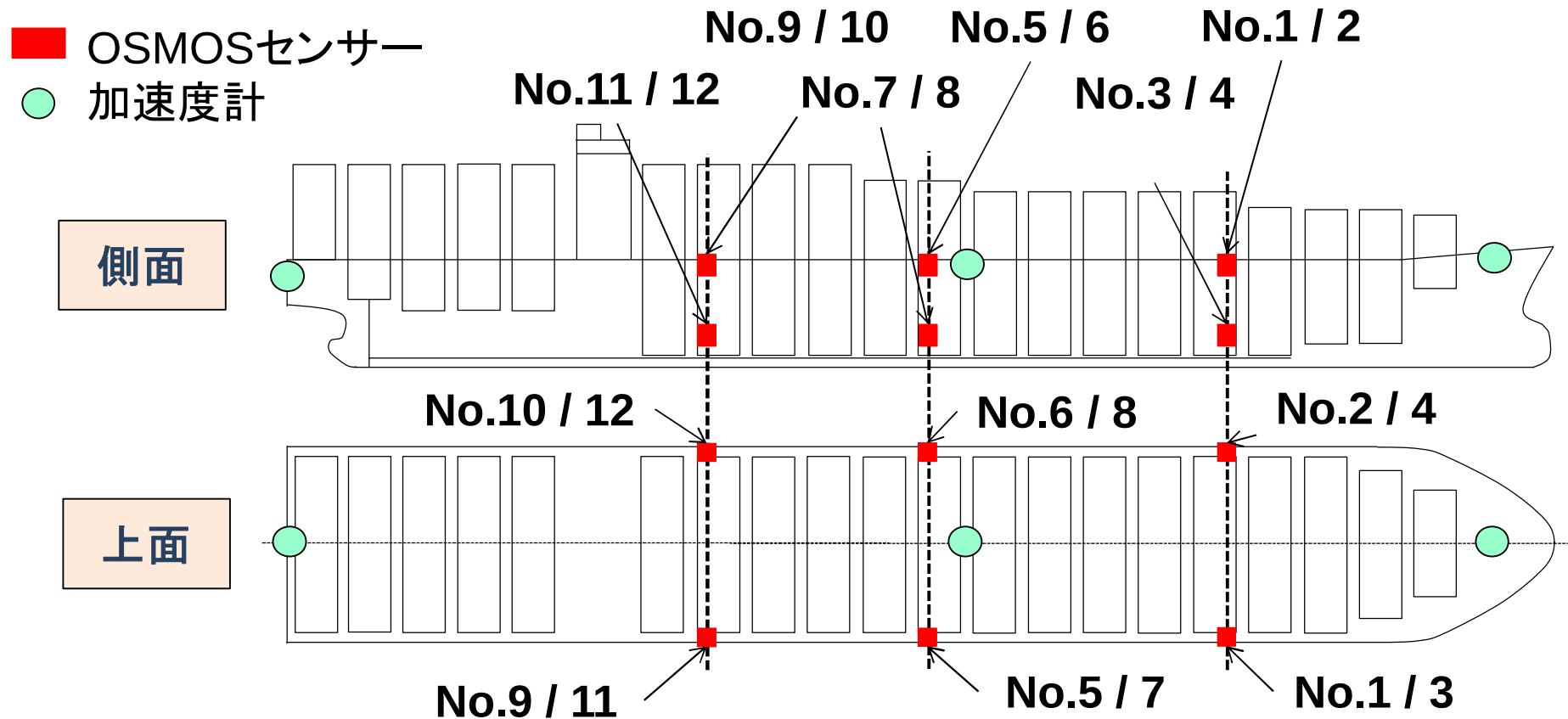


コンテナ船イメージ



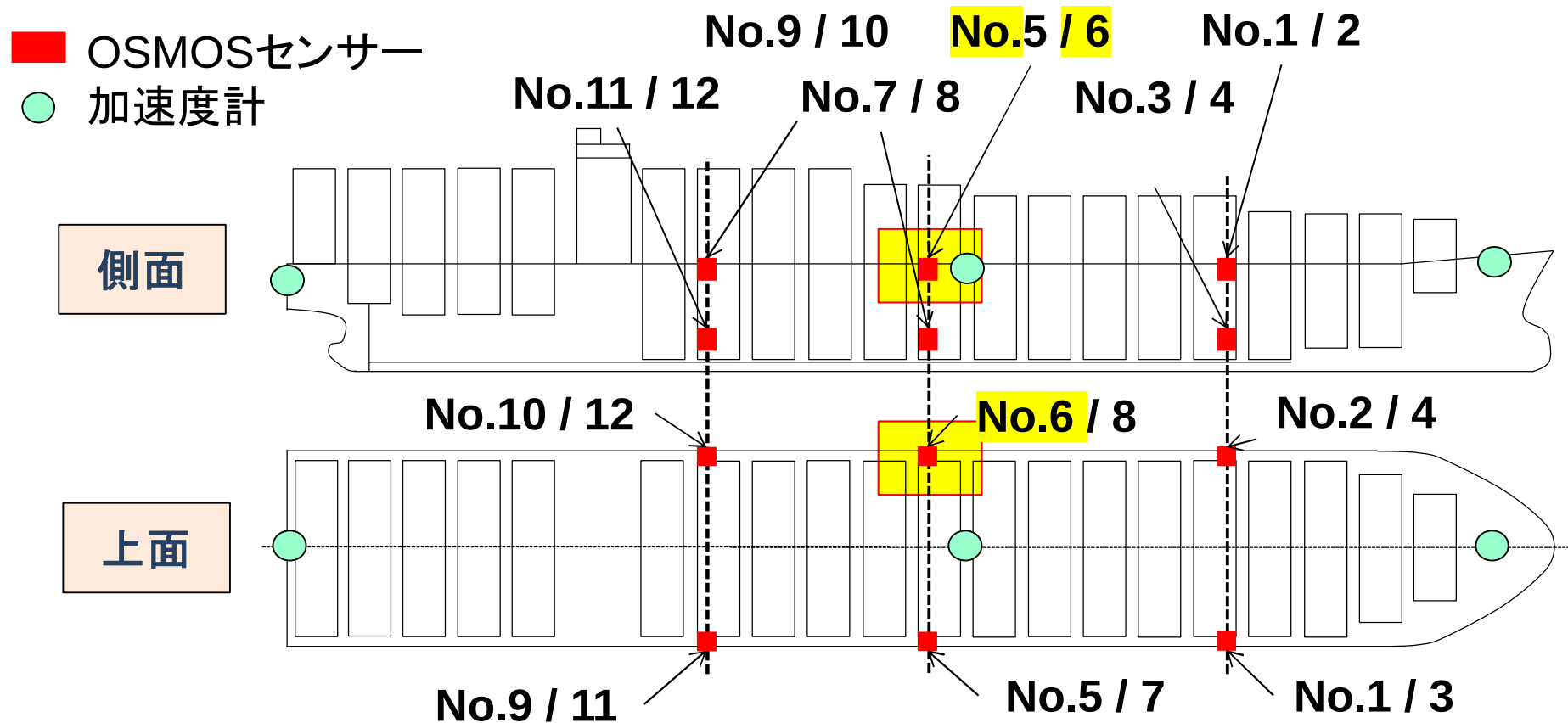
<推定対象とする応力計測箇所>

- 強度の観点から重要な箇所としてNo.6で計測された応力を推定対象とする。



<推定対象とする応力計測箇所>

- 強度の観点から重要な箇所としてNo.6で計測された応力を推定対象とする。



<使用するデータ>

ケース① 全説明変数を用いた推定

ケース② 説明変数として航海・気象・海象データを用いた推定

分類	項目	ケース①	ケース②
航海データ	対水・対地船速, 針路, 主機回転数, 主機馬力	○	○
気象データ	風向き, 風速	○	○
海象データ	波高, 出会波向き, 波周期, 波の方向幅, 波の尖度, 波の周波数集中度, 水深	○	○
加速度データ	3軸(x, y, z)加速度	○	-
応力データ	船体構造に生じる応力	○	-

<応力推定に用いる機械学習手法>

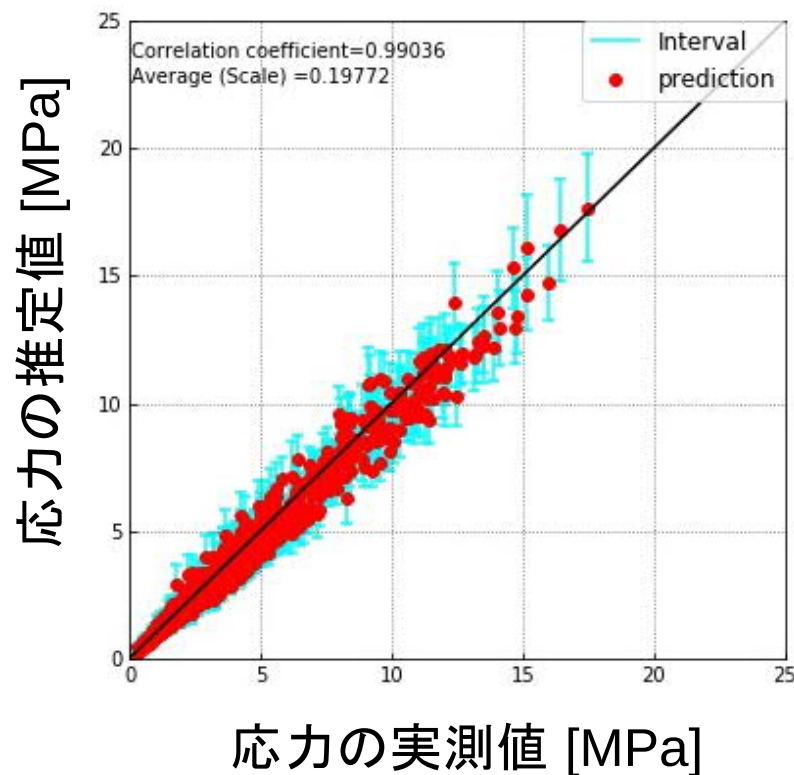
- 風，波，潮流などの気海象を正確に把握することは難しく，データには**不確実性のある計測値**が含まれる。
- そのため，**確率分布を用いることで合理的な結果が得られる**と考え，応力推定には**NGBoost**(Natural Gradient Boosting)を用いる。

<NGBoostについて>

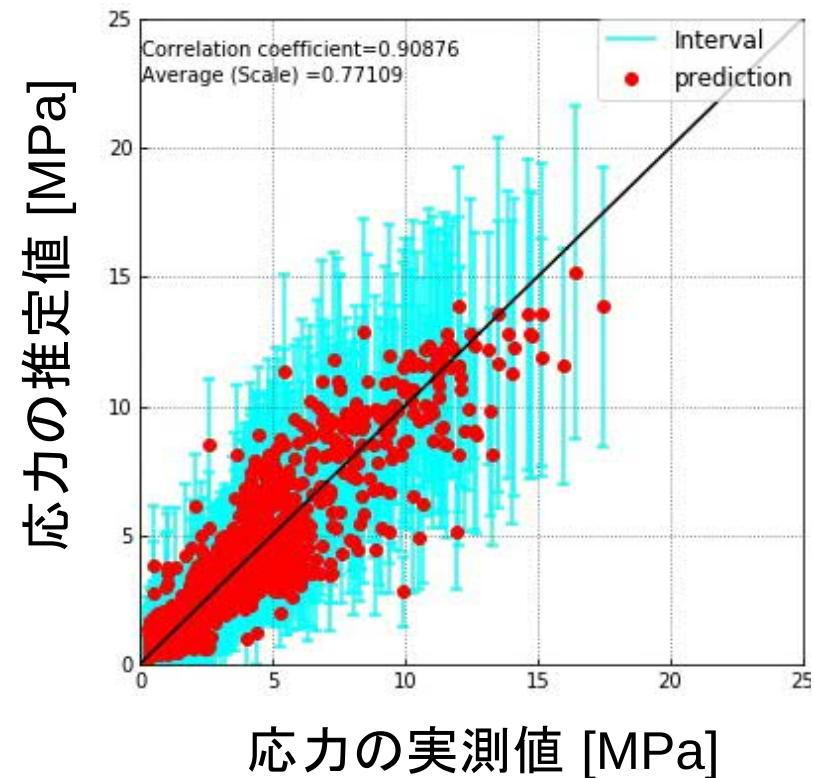
- 勾配ブースティングを拡張した手法であり，**推定結果として確率分布を出力**する。
- **確率分布の複数のパラメータを同時に推定**するために，弱学習器の学習効率化に**自然勾配**を用いている点が特徴。

<応力推定結果>

➤ ケース①, ②ともに一定の精度で応力を推定できることが確認できた。



応力推定結果サンプル
ケース①: 全説明変数使用



応力推定結果サンプル
ケース②: 気象・海象・航海データのみ使用

<まとめ>

- 実船計測データ及び機械学習を用いて船体構造に生じる**応力の推定モデルを作成し、一定の精度で応力を推定できることを確認**した。
- 他船への適用結果との比較・検証による、**本手法の汎用性確認**が課題。
- **推定精度確保**に必要な**データ数・変数の重要度についての知見**が必要。

<今後の取り組み>

- 応力推定等により**船体の状態を定量的に把握**することで、**高度な検査の実現**を目指す。

<参照先>

- 令和3年 日本船舶海洋工学会 春季講演会
「機械学習アプローチに基づく船体応答の推定に関する研究(第1報)」
- 2021年度人工知能学会全国大会
「実船計測データ及び機械学習を用いた船体構造の応力予測」

<AIによる船級業務高度化>

1. 可能性検証

- 船体構造部材の腐食衰耗予測
- 実船計測データを用いた船体構造の応力推定
- 舶用エンジンの異常燃焼検知

2. 実施中の主な取り組み

- 損傷情報分析の高度化
- AIの性能評価

<背景>

- 様々な業界で**状態監視へのAI適用**の検討が進められている。
- 船舶分野では船用機器のセンシング技術やエンジンの電子制御化, IoT技術の高度化により**様々なデータを取得・分析できる環境が整いつつある**。また, これらのデータを活用した**エンジンの異常検知に関する研究開発**も行われており, 統計的手法を用いた検討もなされている。
- 異常検知には様々な手法が存在し, 対象とするデータの性質によって効果的な手法が異なるため, **適切な異常検知手法を選択**することが重要。

k近傍法

特異スペクトル変換法

iForest

LOF

自己回帰モデル

GGM

Mahalanobis

OC-SVM

SVDD

PCA

Robust PCA

Vector Quantization

様々な異常検知手法

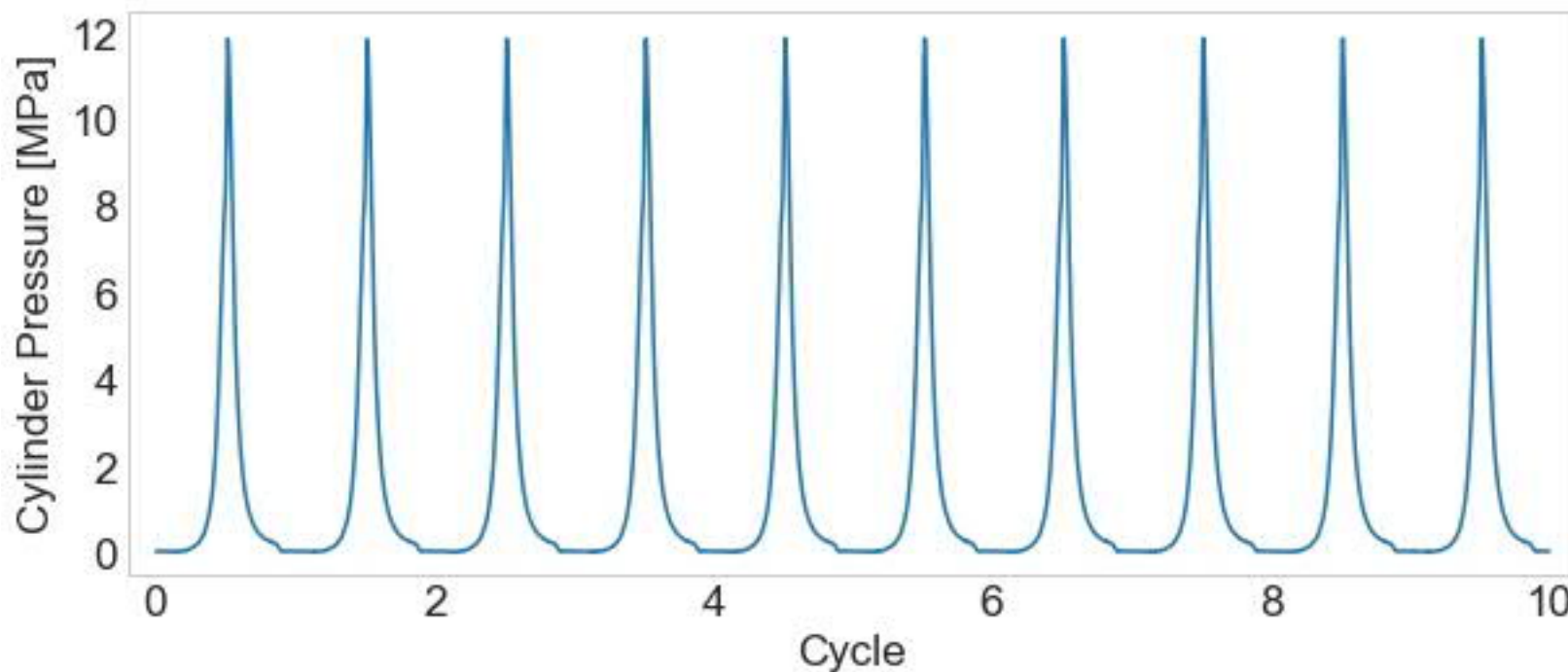
<目的>

- **機械学習を用いた異常検知手法に関する特徴の把握**

<異常検知の対象とするデータ>

➤ ピストン径600mmの2ストロークディーゼルエンジン

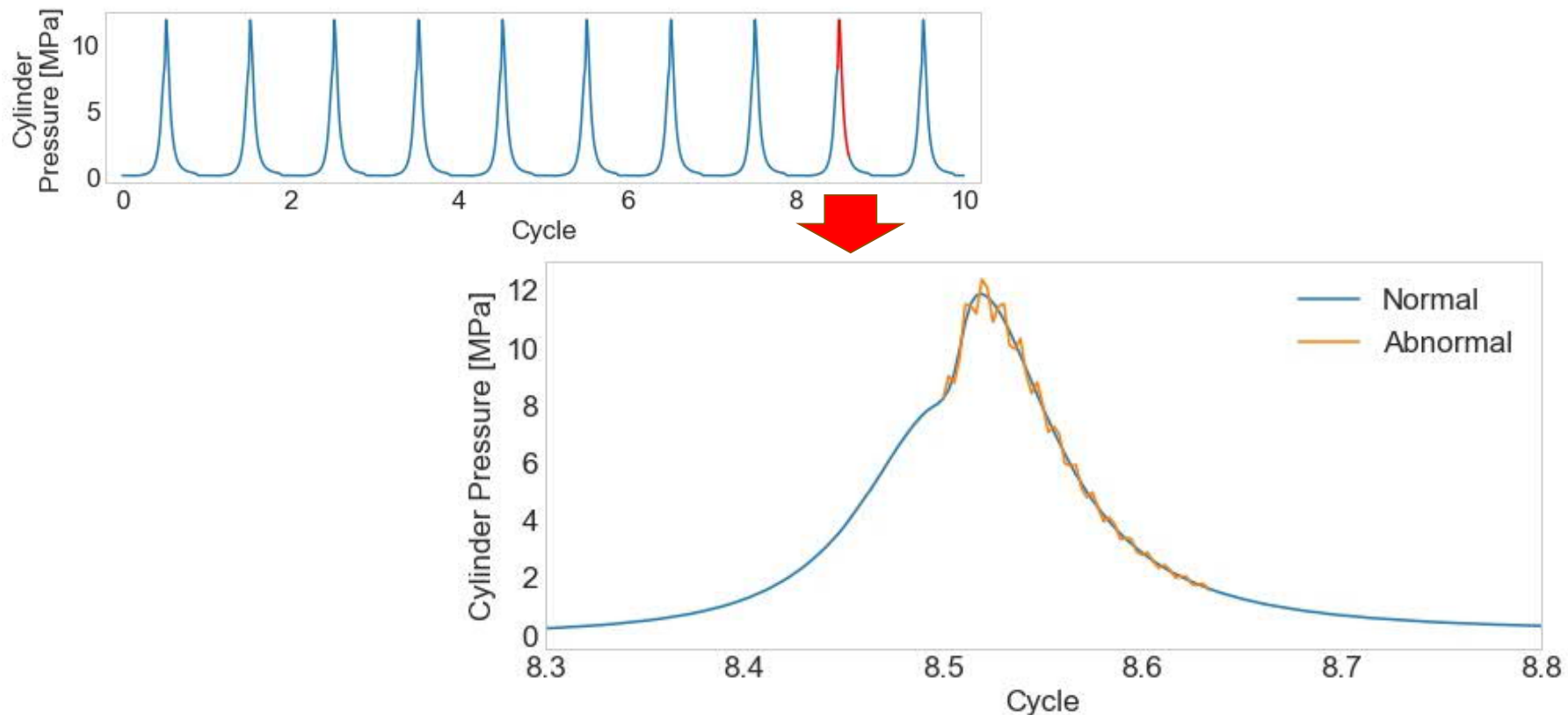
- 1~6気筒で計測された、**正常状態における燃焼室内圧力**の計測データを利用。
- 圧力は一定の回転数・負荷のもとでクランク角度1度ごとに計測されており、アンサンブル平均をとった**10サイクル分のデータ**を用いる。



No.1シリンダの燃焼室内圧力

＜異常状態を模擬したデータの作成＞

- シリンダNo.1の9サイクル目に**ノッキング**が発生したと仮定
- ノッキングによる振動の周波数を求め、最大振幅1MPaの正弦波として計測値に加えることで、**異常データを模擬的に作成**



人工的に加工した異常データ

＜異常検知手法について＞

- 異常検知は**アプローチ方法によって大きく4種類**に分けることができる。
- 船舶において多くの**異常データを収集することは困難**であるため、正常データのみでモデルを構築可能な異常検知手法を検討する必要がある。

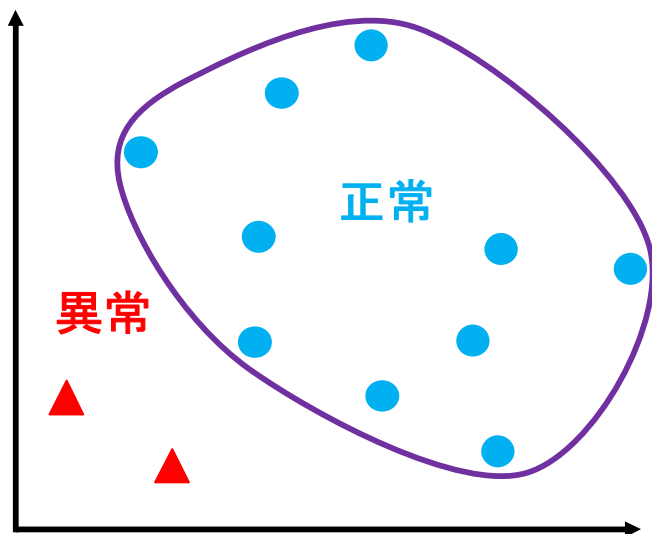
アプローチ方法	異常検知手法の例
データ間の距離	・k近傍法 ・iForest ・Local Outlier Factor ・特異スペクトル変換法
確率論的手法	・自己回帰モデル ・Gaussian Graphical Model (GGM) ・Mahalanobis
境界線により 正常・異常を分類	・One-Class Support Vector Machines (OC-SVM) ・Support Vector Data Description
再構成誤差	・Principal Component Analysis (PCA) ・Robust PCA ・Vector Quantization

<異常検知手法について>

- 本研究では、**正常データのみでモデルを構築**でき、**時系列データに適用可能な**異常検知手法のうち、代表として4つの手法を用いて異常検知を行った。

アプローチ方法	異常検知手法の例
データ間の距離	・k近傍法 ・iForest ・Local Outlier Factor ・特異スペクトル変換法
確率論的手法	・自己回帰モデル ・Gaussian Graphical Model (GGM) ・Mahalanobis
境界線により 正常・異常を分類	・One-Class Support Vector Machines (OC-SVM) ・Support Vector Data Description
再構成誤差	・Principal Component Analysis (PCA) ・Robust PCA ・Vector Quantization

One-Class Support Vector Machines (OC-SVM)



特異スペクトル変換法

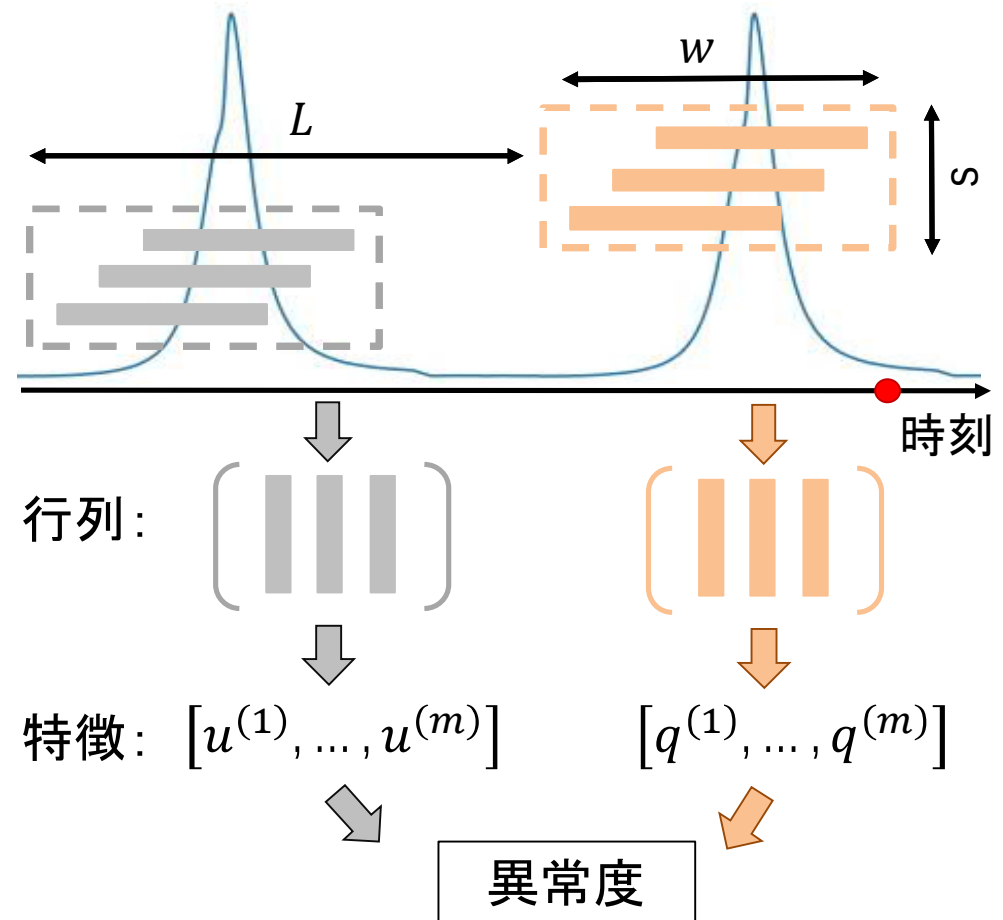
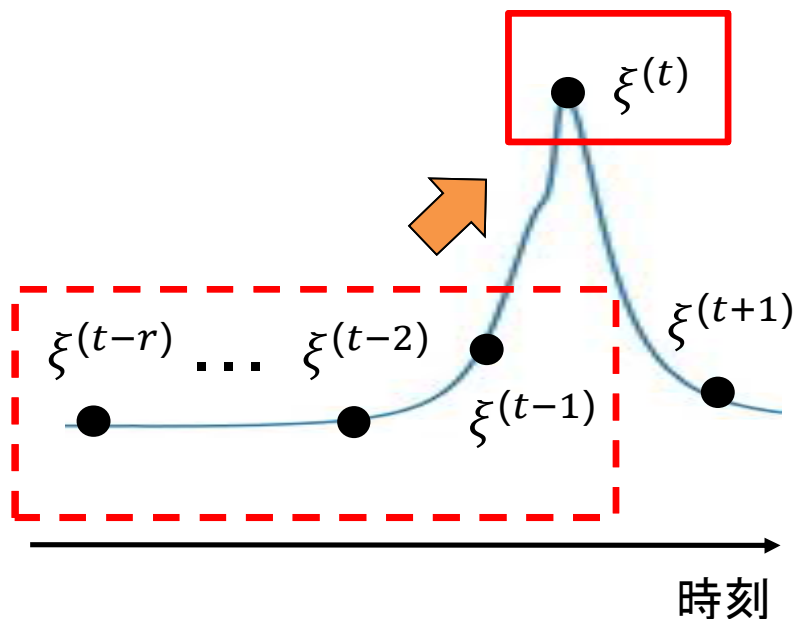


図: 井手剛, 入門 機械学習による異常検知
-Rによる実践ガイド-, コロナ社 より作成

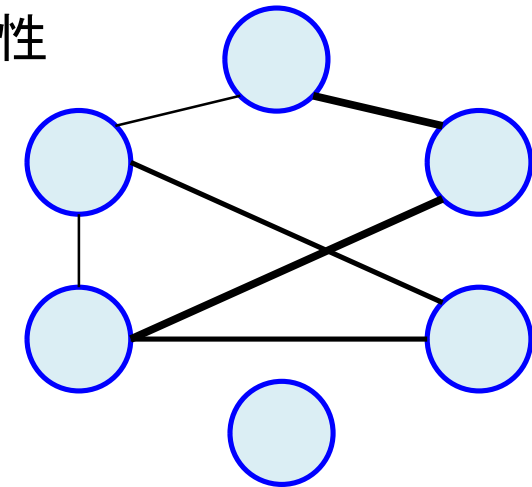
自己回帰モデル



$$\text{異常度: } \frac{1}{\hat{\sigma}^2} \left[\xi(t) - \sum_{l=1}^r \hat{\alpha}_l \xi(t-l) \right]^2$$

Gaussian Graphical Model (GGM)

変数同士の関係性



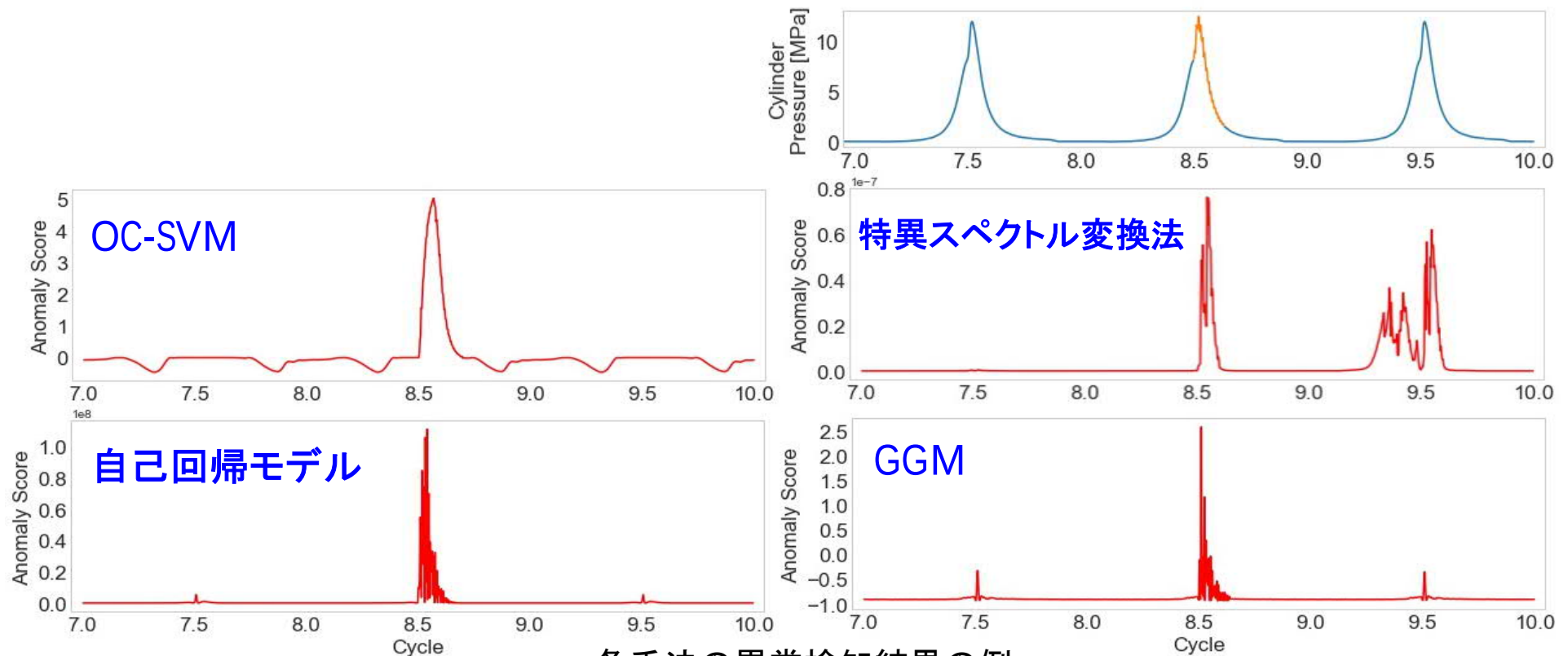
多変量正規分布の確率密度関数

$$N(x|\mu, \Lambda^{-1}) \equiv \frac{|\Lambda|^{1/2}}{(2\pi)^{M/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - \mu)^T \Lambda (x - \mu) \right\}$$

図: 井手剛, 依存関係にスパース性を入れる -グラフィカルlassoの話, 岩波データサイエンス Vol. 5, 48-63, 2016. より作成

＜異常検知の結果＞

- ノッキングを模擬した燃焼室内圧力データに4種類の異常検知手法を適用し、**各手法で異常を検知することができた。**
- 各手法を比較すると、**パラメータ調整にかかるコストに差。**



各手法の異常検知結果の例

<まとめ>

- ノッキングを模擬した燃焼室内圧力データを対象に、4つの手法で異常検知に取り組んだ結果、**各手法の特徴を把握**することができた。
 - OC-SVM, 自己回帰モデル: パラメータ調整が容易
 - 特異スペクトル変換法 : 時系列データの状態変化の検知で効果を発揮
 - GGM : 変数同士の関係性を考慮した異常検知が可能

<今後の課題>

- **主機の燃焼室内における異常**には、着火遅れによる燃焼ピークの遅れや、燃焼性悪化による最高圧力の低下など**様々なものが想定される**ため、それらの異常も検知できる必要がある。
- 圧力に加え、排ガス温度や燃料噴射量、主機回転数、負荷など、**主機の燃焼状態に関連する様々なデータを変数として追加した場合**の異常検知の検討も必要。
- 複数の変数を用いることで、単変量の場合には捉えることのできない**変数同士の関係性を考慮した異常検知**を行うことができるため、**多変量を対象とした異常検知手法**についての検討も必要。

<参照先>

- 91 回(令和 3 年)マリンエンジニアリング学術講演会
「船用エンジンの異常燃焼検知を目的とした統計的手法適用に関する検討」

<AIによる船級業務高度化>

1. 可能性検証

- 船体構造部材の腐食衰耗予測
- 実船計測データを用いた船体構造の応力推定
- 船用エンジンの異常燃焼検知

2. 実施中の主な取り組み

- 損傷情報分析の高度化
- AIの性能評価

<AI活用で考慮すべき点>

- AI活用やビッグデータ解析を前提としたデータの持ち方
- 蓄積できていないデータを収集するための仕組み
- 収集したデータの適切な分析手法の選択

<船級業務の高度化に向けて>

- 損傷情報分析の高度化
- AIの性能評価手法の検討

<AIによる船級業務高度化>

1. 可能性検証

- 船体構造部材の腐食衰耗予測
- 実船計測データを用いた船体構造の応力推定
- 船用エンジンの異常燃焼検知

2. 実施中の主な取り組み

- 損傷情報分析の高度化
- AIの性能評価

<損傷情報に関する現状>

- 検査記録書をもとに**損傷情報を収集し、DB化**している

【含まれている情報】

個船情報, 検査情報, 損傷箇所, 損傷の分類, 修理方法, 原因 など

- **DBの使われ方**の例

- 船種や損傷部位, 機器(部品)ごとに集計し, 傾向や想定される原因を把握
- 同型船(類似船)や同型機器の検査時に損傷事例を参考にする

<取り組み内容>

- DBに蓄積された情報をもとにした**新たな価値の創出**

【新たな価値の例】

- 増加しつつある損傷傾向や新しい損傷傾向を発見し, 検査員に気付きを与える
- 対象船舶において注意すべき損傷の提示, 損傷事例のピックアップ

<AIによる船級業務高度化>

1. 可能性検証

- 船体構造部材の腐食衰耗予測
- 実船計測データを用いた船体構造の応力推定
- 船用エンジンの異常燃焼検知

2. 実施中の主な取り組み

- 損傷情報分析の高度化
- **AIの性能評価**

<背景>

- 近年機械学習を用いた**AIの実用化が進んでいる**。船舶分野においても、国内では自動運航船の実現や、造船所における生産性向上、機関の状態監視などにAIを活用する取り組みなどが行われており、今後、**船舶の一生における様々なフェーズでAIの活用が進む**ことが予想される。
- 将来的に**AIを用いた機器**が船舶に搭載される際、**船級協会として評価**する必要がある。
- 機械学習を用いた**AIの実用化に関連した課題**の例
 - AIの説明責任
 - AIの精度
 - 学習データに含まれていないケースへの対応

<目的>

- AI搭載機器の性能評価手法の確立

<取り組み内容>

- 自動車など，他産業における評価方法の調査
- AIの品質や信頼性に関連した既存ガイドラインの調査

<既存ガイドライン例>

- 機械学習品質マネジメントガイドライン
(国立研究開発法人産業技術総合研究所)
- プラント保安分野AI信頼性評価ガイドライン
(経済産業省，総務省消防庁，厚生労働省)
- AIプロダクト品質保証ガイドライン
(AIプロダクト品質保証コンソーシアム)
- Ethics Guidelines for Trustworthy AI (EU)

船級業務の高度化に向けた取り組み ～AI活用技術～

AIを活用した取り組みを通じて船級業務の高度化を図り、船舶の更なる安全性向上や効率化に貢献してまいります。

ご清聴ありがとうございました。