

1A04

次世代研究基盤戦略を見越した共用実績データマネジメントの試行

○阿部真育（北海道大学グローバルファシリティセンター）
江端新吾（北海道大学 URA ステーション）

1. はじめに

平成18年に閣議決定された第3期科学技術基本計画において、科学技術振興のための基盤強化を目的に先端大型研究設備の整備と共用促進が提言された。その後の第4期並びに第5期科学技術基本計画においても、先端分析機器の共用化は研究基盤強化の柱の一つであり続けている。

施策としての研究基盤強化が成熟に向いつつある一方、第4期科学技術基本計画以降、大学や研究機関側にはPDCAサイクルの確立といった研究基盤管理システム全体の具体的なマネジメント方法の提言が求められるようになってきている。そのような状況の中、北海道大学では先端機器の共用化政策を先進的かつ体系的に進めており、分析機器共用関連のデータ（以下、共用実績データ）の蓄積年数は既に10年を超える。このため、事業の評価や見直し方針の検討を定量的に行える土台が整いつつある。しかしながら全国的に見て、限られた予算内で機器の維持・購入の優先順位を定量的に求める方法論は、筆者の知るところでは未だ確立されていない。

そこで本研究では、共用実績データマネジメント手法を確立することで、短期的な分析機器メンテナンス方針から長期的な分析機器マネジメント方針までを定量的に整理し、次世代の研究基盤戦略構築への提言を試みる。具体的には時系列分析を主たる分析方法として用いることで、北海道大学が保有している分析機器の利用状況推移を予測も含めて把握し、持続可能な分析機器運用の可能性を示す。

2. 継続的事業評価方法としてのロジックモデル

新行政マネジメント（NPM：New Public Management）理論¹によれば、すべての施策・事業には必ずその活動によってどのような成果が生み出されるのかという論理・道筋の仮説が存在する。また近年はストーリー思考に代表されるように、現在置かれた状況からどのようなストーリーを立てることで最終的な目標に至るかを論理的に検討する方法も様々な分野で着目されている²。

そのような方法論の中で、ロジックモデルはNPM理論を支援する基本的ツールとして定着しており、行政改革の実践の中で適用されてきた実績を有している。ロジックモデルとは最終的な成果を設定し、それを実現するために具体的にどのような中間的な成果を必要とし、またそのような成果を得るためにはどのようなデータ収集を行う必要があるのかを体系的に明示するためのツールである（図-1）。欧米諸国ではロジックモデル作成のマニュアルも提案され、幅広く適用されている³。わが国においても、平成13年に『行政機関が行う政策の評価に関する法律』が施工され、各省庁において、政策評価活動のための基本計画策定にロジックモデルが活用されている例が多く見られる。

ロジックモデルの形式的な特徴としては、1)実際の日常業務から最終的な成果に至るまでの過程を1本もしくは複数の線によって繋げること、2)成果の段階を複数段階に分けて提示すること、が挙げられる。成果の段階とは、図-1に示すような具体的な活動から最終的な成果に至るまでの中間段階にどのようなことが起こりうるかの検討事項に該当する。それらの特徴をもって、ブラックボックスになりがちな施策・事業の成果導出過程を明示化することがロジックモデル構築の目的となる。ロジックモデルを作成する最大の利点は、事業計画の立案者、実施者、管理者、評価者、利害関係者等の様々な主体が、本格的な政策論争を行い導き出した共通認識を具現化できるところにある。それによりどの立場から見ても見直すべき点が抽出されることとなり、具体的な将来像と現状の課題を常に把握しながら、事業計画の見直しを行うことが可能となる。

¹ 大住荘一郎：ニューパブリック・マネジメント，日本評論社，1999。

² 神田 昌典：ストーリー思考，ダイヤモンド社，2014。

³ W.K.Kellogg Foundation: W.K.Kellogg Foundation Evaluation Handbook,1998.

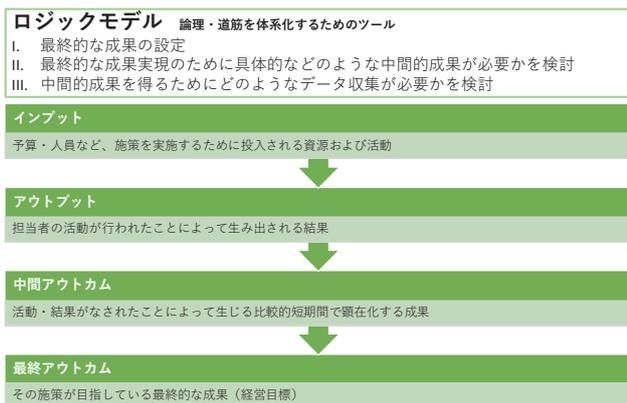


図-1. ロジックモデルの概念

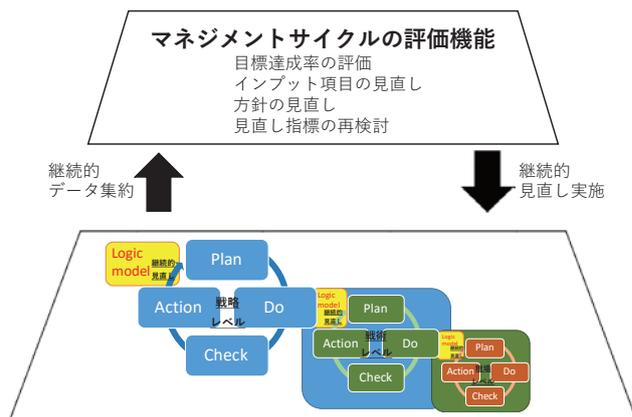


図-2. 階層的PDCA サイクルとロジックモデル及びマネジメントサイクルの評価機能の位置づけ

3. ロジックモデルの位置づけ

一度立案した維持管理計画を逐次改善していくためには、PDCA サイクルにおける Check と Action を特に実施していくべきである。しかしながら現状では、企画段階だけに対して多くのマンパワーが投入され Check と Action の段階が適切に機能していない状況が非常に多い⁴。この理由として窪田⁵は、1) 事後評価に対する現実的な要請が強いにもかかわらず理論的な観点による事後評価自体の確立がなされていないこと、2) 事後評価が行政責任の確保という目的のみに実施されており評価自体の目的が不明確なこと、を挙げている。

これらの不明確さは、政策研究の一環として行われている理論的評価研究では生じることはなく、政治社会における価値観や利害の多様性を含んだ政治過程を通じて実際の政策形成過程においてのみ生じる。それ故に、事後評価の必要性に関しては様々な論文で述べられているが⁶、多くは現状のデータ等を用いて将来予測手法の提案・開発までに留まっており、具体的かつ実現可能な継続的見直し方法に関しては今後の課題にて言及されるのみとなっている。

その課題を解決するために、中林ら⁷は高速道路の維持管理項目に対して、ロジックモデルを用いた事後評価手法の提案を行っている。さらに青木ら⁸は維持管理業務によって取得されたデータに対してベンチマーク評価を実施する事により、業務プロセスの要改善箇所を抽出し、改善による維持管理自体のパフォーマンス評価としてロジックモデルを活用する方法論を提案している。

このように継続して運用の成果をロジックモデルの活用によりモニタリングし、逐次ベンチマーキング評価を行うことで、大学研究基盤全体の効率化並びに先進化に資する業務サイクルが、現場レベル、戦術レベル、戦略レベルのどのレベルにおいても機能することになる(図-2)。さらに階層的なPDCAのそれぞれから情報を集約し、継続的な見直しの提案を俯瞰的に行える組織あるいは仕組みの存在がロジックモデルの構築に併せて重要となる。

4. 共用実績データを用いたロジックモデルの構築

これまでに蓄積している共用実績データ並びに事後評価する上で今後必要となるデータをインプットとして、ロジックモデルの構築を行った。表-1にその一部を示す。ロジックモデルを継続的に見直す上で重要となる項目は『評価指標の取り方』である。長期的にデータを蓄積することで、評価指標に高度な分析を組み込ませることが可能となる。紙面の関係上、本研究では、主に赤枠で囲った『利用人数の記

⁴ 松下哲明, 秀島栄三: 不確実性を考慮した防災事業の予算配分の評価 - 木造住宅の耐震化事業と仮説住宅の備蓄 -, 土木学会論文集 D3, Vol.68, No.5, pp.I_131-I_139, 2012.

⁵ 窪田好男: 政策評価論再考 - 事後的政策分析としての政策評価 -, 政策科学, Vol.5, No.1, pp35-54, 1997.

⁶ 例えば、松中亮治, 柚木俊郎, 青山吉隆, 中川大: わが国における高速道路ネットワークの段階的整備プロセスの事後評価, 土木計画学研究・論文集, Vol.20, No.1, 2003.

⁷ 中林正司, 西岡敬治, 小林潔司: 阪神高速道路の維持管理の現状と課題, 土木学会論文集 F, Vol.63, No.4, pp.494-505, 2007.

⁸ 青木一也, 小田宏一, 児玉英二, 貝戸清之, 小林潔司: ロジックモデルを用いた舗装長寿命化のベンチマーキング評価, 土木技術者実践論文集, Vol.1, pp.40-52, 2010.

録』の戦略レベルに着目して議論を進める。なお構築したロジックモデルでは、数十年単位の長期目標に位置する最終アウトカムに『時系列分析による予測』を挙げているが、本研究では、蓄積されている10年分のデータを用いて時系列分析を行い、試験的に全ての評価指標の算出を試みる。

表-1. 北海道大学研究基盤管理システムのデータに基づいて作成したロジックモデルの一部

維持管理分類	短期目標設定 (数か月から数年単位)			中期目標設定 (数年から十数年単位)			長期目標設定 (数十年単位)		
	メンテナンス			マネジメント			マネジメント		
	環境レベル			戦略レベル			戦略レベル		
大項目	インプット	アウトプット	アウトプット指標	中間アウトカム	中間アウトカム指標	最終アウトカム	最終アウトカム指標	目標	
大項目説明	現状得られること	選択から得られる成果	成果の定量化指標	アウトプットから得られる戦略的価値	成果の定量化指標	中間アウトカムから得られる戦略的価値	成果の定量化指標	戦略的価値を評価	
具体項目	利用者人数の記録	利用者人数推移	今年度利用者数あるいは利用者増加率 (=今年度四半期別利用者数/昨年度四半期別利用者数)	年間利用者人数推移	年間利用者増加率 (=予測利用者数/過年度平均利用者数)	時系列推移予測			
	利用時間の記録	利用時間推移	今年度利用時間あるいは利用時間増加率 (=今年度四半期別利用時間/昨年度四半期別利用時間)	年間利用時間推移	年間利用時間増加率 (=予測利用時間/過年度平均利用時間)	時系列推移予測			
	修理回数の記録	修理回数推移	今年度修理回数あるいは修理回数減少率 (=今年度四半期別修理回数/昨年度四半期別修理回数)	年間修理回数推移	年間修理回数減少率 (=予測修理回数/過年度平均修理回数)	時系列推移予測			
	視察状況の記録	視察回数推移 視察団体の分類	個別視察団体分類別視察回数の増加率 (=団体別今年度四半期別視察回数/団体別昨年度四半期別視察回数)	視察回数推移 視察団体の分類	年間個別視察団体分類別視察回数の増加率 (=団体別今年度視察回数/団体別昨年度視察回数)	時系列推移予測		全体平均予測推移をベンチマークとした場合の、装置区分別の差分 (装置区分としては、測定分野別、装置の価格別、学内・学外利用別、機器設置場所別等が考えられる) →今後戦略的に補てんすべき装置群検討の指標	世界トップのファシリテーションへ

表-2. 本研究にて考慮する時系列モデルの概要

モデル	数式	概要説明
ホワイトノイズモデル	$E(e_t) = 0, V(e_t) = \sigma^2 = 1, Cov(e_t, e_{t-s}) = 0$ ここで $e_t \sim$ [任意の確率分布] を, s はラグを示している。以下, ホワイトノイズは $u(t)$ と表記する。	現在の事象が過去の事象に全く依存しない現象の場合に用いるモデル。
自己回帰モデル (AR モデル)	$y(t) = \mu' + \phi_1 y(t-1) + \phi_2 y(t-2) + \dots + \phi_{t-p} y(t-p) + u(t)$ ここで μ' と ϕ は係数パラメータである。	現在の事象が前後の時点の事象から影響を受ける場合に用いるモデル。
移動平均モデル (MA モデル)	$y(t) = \mu + u(t) - \theta_1 u(t-1) - \theta_2 u(t-2) - \dots - \theta_q u(t-q)$ ここで μ と θ は係数パラメータである。	現在の事象が過去の事象の分散に影響を受ける場合に用いるモデル。(データを一つずつずらして平均を計算する移動平均とは異なった概念)
自己回帰移動平均モデル (ARMA モデル)	$y(t) = \mu' + \phi_1 y(t-1) + \phi_2 y(t-2) + \dots + \phi_{t-p} y(t-p) + u(t) - \theta_1 u(t-1) - \theta_2 u(t-2) - \dots - \theta_q u(t-q)$ AR の次数が p , MA の次数が q なので ARMA(p, q) と表記する。	ARモデルとMAモデルの両方の対象となる事象を含む現象を説明する場合に用いるモデル。
自己回帰和分移動平均モデル (ARIMA モデル)	$(1 - \sum_{i=1}^p \phi_i L^i)(1 - L)^d y(t) = (1 + \sum_{i=1}^q \theta_i L^i)u(t)$ ここで d は階差の値を示す。L はラグオペレータを示しており、 $\Delta x_t = (1 - L)x_t - x_{t-1}$ のように用いる。AR の次数が p , MA の次数が q , 階差が d なので ARIMA(p, d, q) と表記する。	ある一定時点間の差のデータが ARMA モデルで説明可能な現象の場合に用いるモデル。

5. 時系列分析

ある現象を定式化する分析方法として一般的に、『回帰分析』と『時系列分析』がよく知られている。回帰分析は考えられる要因と未知の要因から定式化を行う。それに対し時系列解析は、ある一定期間(ラグ)前の情報から定式化を行う。共用実績データは、時間経過に伴う状態の変化を表しているため、本研究では時系列分析を用いて分析を行う。

一般的に用いられている時系列モデルの特徴を表-2にまとめる。なお、ホワイトノイズモデルは現在の事象が過去の事象に全く依存しない現象の場合に用いるモデルであり、時系列モデルによって表現できない事象等をモデルに組み込むために用いられる。蓄積された時系列データを用いて時系列モデルの係数パラメータを推計することで、対象の現象を表現する予測モデルを定式化できる。

モデルの定式化の際には、『データの自己相関』と『データが定常性を満たすかどうか』の確認を行う。データの自己相関は、過去の時点の現象が現時点の現象に対してどの程度影響を与えているかの指標である。一方、データの定常性に関しては一般的に、弱定常性を満たしていれば定常性を満たしていると言われている。現象群を確率変数列と見た時に、①平均が一定、②分散が一定、③自己共分散がラグのみに依存する、といった3つの条件を満たす場合に弱定常性を持つと定義される。

上記定義が存在するため、時系列データが定常性を満たす場合と満たさない場合が存在し、これらは基本的に ARMA モデルと ARIMA モデルを使い分けることで対応できる。定常性を満たす場合は、ARMA モデルにて分析を行う。ARMA モデルは、現在の事象が過去の事象に影響を受けることを表す AR 部分と現在の事象が過去の事象の分散に影響を受けることを表す MA 部分によって成り立つ。時系列データを ARMA モ

デルに当てはめ、最尤法にて各項のパラメータを推計する。時系列データが定常性を満たさない場合においても、一時点前の値との差分を取るなどの処理を行うことで、定常性を満たすようになる場合も存在する。こうしたデータのことを『単位根を持つ』という。時系列データ分析を行うモデルを選択する際には、データが定常性を満たすか、単位根を持つかについて単位根検定を行うことで確認する。単位根を持つ場合は、ARIMA モデルを用いて分析する。ARIMA モデルは単位根を持つデータに対しデータの差分を取ることで、データを定常過程とし ARMA モデルを当てはめるものであり、最尤法にて各項のパラメータを推計する。

上記の処理過程において、現象を説明する時系列モデルの候補が挙げられることとなり、その中から最適なモデルを選定する作業が必要となる。本研究では、モデル選択の際に一般的に用いられる AIC (Akaike Information Criteria: 赤池情報量基準) を用いることとする。AIC は統計モデルの良さを評価するための相対的指標であり、『モデルの複雑さと、データとの適合度とのバランスを取る』ために用いられる。AIC が最も小さいものを適切なモデルとなる。

4. 結果と考察

共用実績データの一つである利用人数に関する時系列データの一例を図-3 に、利用人数に関する共用実績データを用いて予測を行った結果を図-4 に示す。なお、今回の予測モデルでは、2 種の共用実績データ共に図-4 において ARIMA (1, 0, 0) の記載があることから、1 次の AR モデルが最適なモデルとして選定されている。

図-3 の共用実績時系列データの例としては、供用開始時からデータの蓄積があり供用開始以来定常的に同程度の利用実績を示している『フローサイトメーター (図-3 上)』と供用開始から暫くしてから急激に利用人数が増加し、その後減少傾向を示している『超高精度電子ビーム装置 (図-3 下)』を挙げた。蓄積されたデータを図化することで、異なる傾向を定性的に可視化することができる。さらに将来的な研究基盤戦略を考える上で、それら傾向の定量的分類が叶えば、最適な戦略をそれぞれの傾向毎に検討することが可能となる。

図-4 は図-3 の合計値の時系列データから 1 年、3 年、5 年先の予測を行った結果である。予測結果の赤線とオレンジ色、及び黄色はそれぞれ、予測値と 75%信頼区間及び 95%信頼区間を示している。継続的かつ体系的にデータが取得されているために、分析の際のデータ補間を行う必要なしに時系列予測を行うことが可能であった。また一般的に時系列予測は、サンプルサイズの 10%~20%の期間しか予測値に対する信頼が担保されないと言われているが、3 年予測、5 年予測においても信頼区間の幅は 1 年予測の場合と大きく変わらず、長期予測値も戦略検討に利用できる可能性は大きいと言える。しかしながら、フローサイトメーターの予測結果 (図-4 上) と超高精度電子ビーム装置の予測結果 (図-4 下) では、過去の利用人数の変動幅の影響が予測値の信頼区間に影響を与えていることが見て取れる。従って、将来的な戦略検討を予測結果に基づいて行う場合は、蓄積されたデータの傾向と共に信頼区間の幅の大きさも要素の一つとして考える必要がある。

なお、上記の結果を次世代研究基盤戦略に活かすためには、マクロ的な視点による解釈が必要となる。具体的には、継続的に利用が見込まれる機器、近年利用が増加している機器、利用が低下している機器といったトレンドに着目し、今後の新規機器購入やメンテナンス等への投資優先順位を検討するといった戦略や、機器の測定分野別、装置の価格別、設備の設置場所別、学内/学外利用別などによるトレンドの違いを把握することで大学全体としての研究基盤強化に資する検討を行うといった戦略などが挙げられる。これら戦略的示唆の結果に関しては、発表時に詳細を述べることとする。

5. 今後の課題

本研究において、現場レベルから戦略レベルまでを包括した継続的見直しシステムの一例を、ロジックモデルをメインのツールとして用いることで提案した。広範に及ぶ共用実績データ等をいかにロジックモデルとして体系的に整理できるかは、ロジックモデルの最終目標に関わる組織と密にコミュニケーションを取り続けることが重要と言える。

ロジックモデルの評価指標算出のために、共用実績データの活用事例を紹介した。これらの結果は、共用機器に関するデータ蓄積の重要性を提示することが出来たが、以下に挙げる課題も明らかになった。

- ・現状蓄積しているデータ項目のみの解析では検討できる内容が限られてしまう
- ・全ての機器の補修実績取得は現実的に不可能なため、分析機器の劣化状態の把握は困難である
- ・新規導入機器に関してはデータの蓄積が不十分であるため、対象選定の段階でバイアスがある

蓄積されていくデータの種類や最終的な目的によっては時系列モデルの改修あるいは別の手法への変更も必要となる。つまり、見直しの都度に最適な手法の検討が必要となる可能性はあるが、ロジックモデルの見直しの際に指標を算出する手法検討がメインの議題になることは避けるべきであり、目標を達成するための手法検討であるという共通認識を関係者間で持つておくことが必要である。

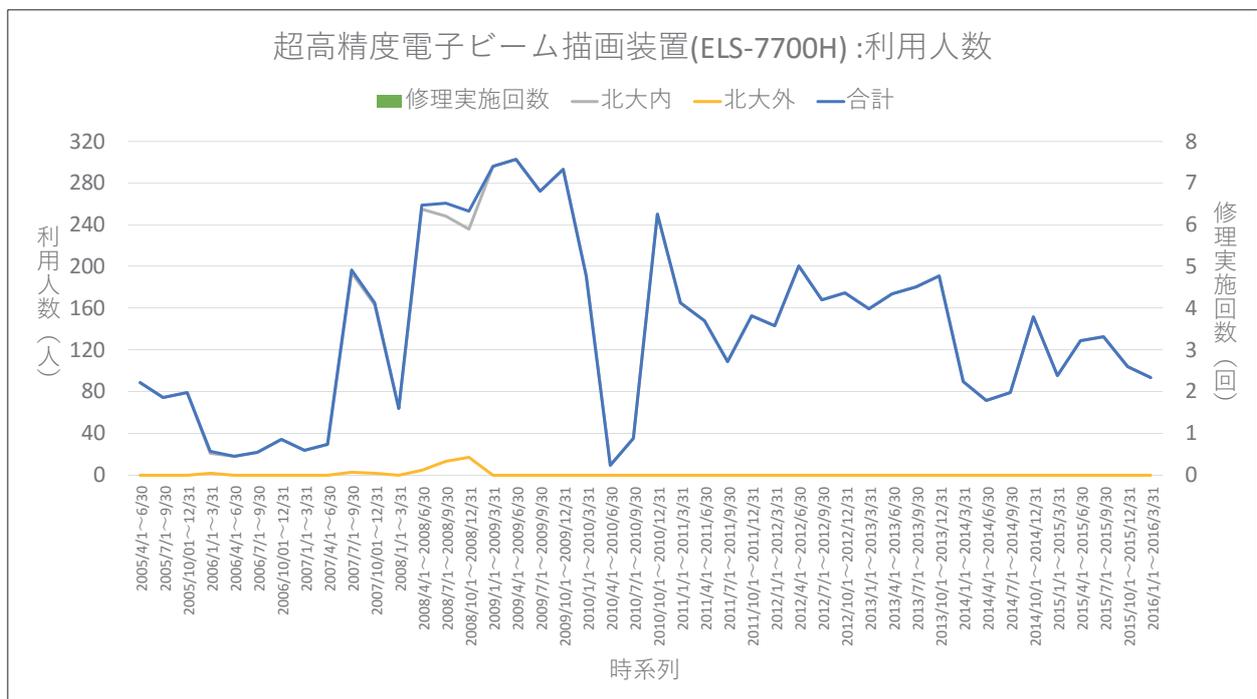
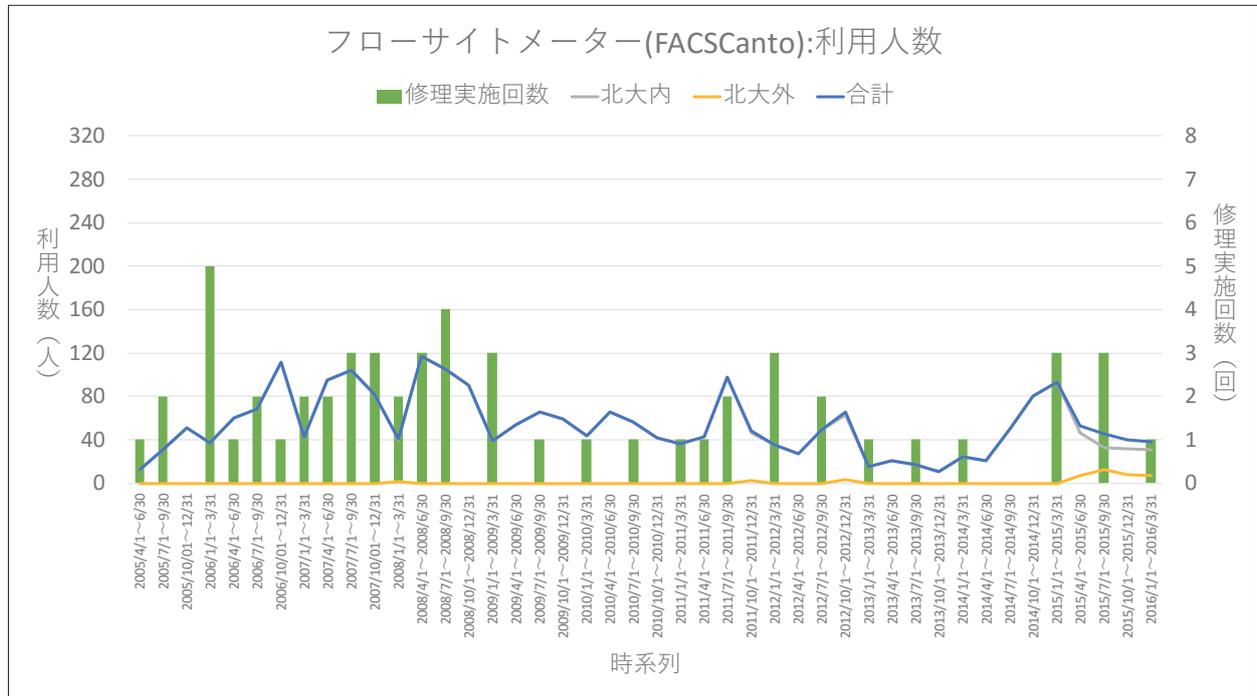


図-3. フローサイトメーターの利用人数時系列データ (上図) と超高精度電子ビーム描画装置の利用人数時系列データ (下図)

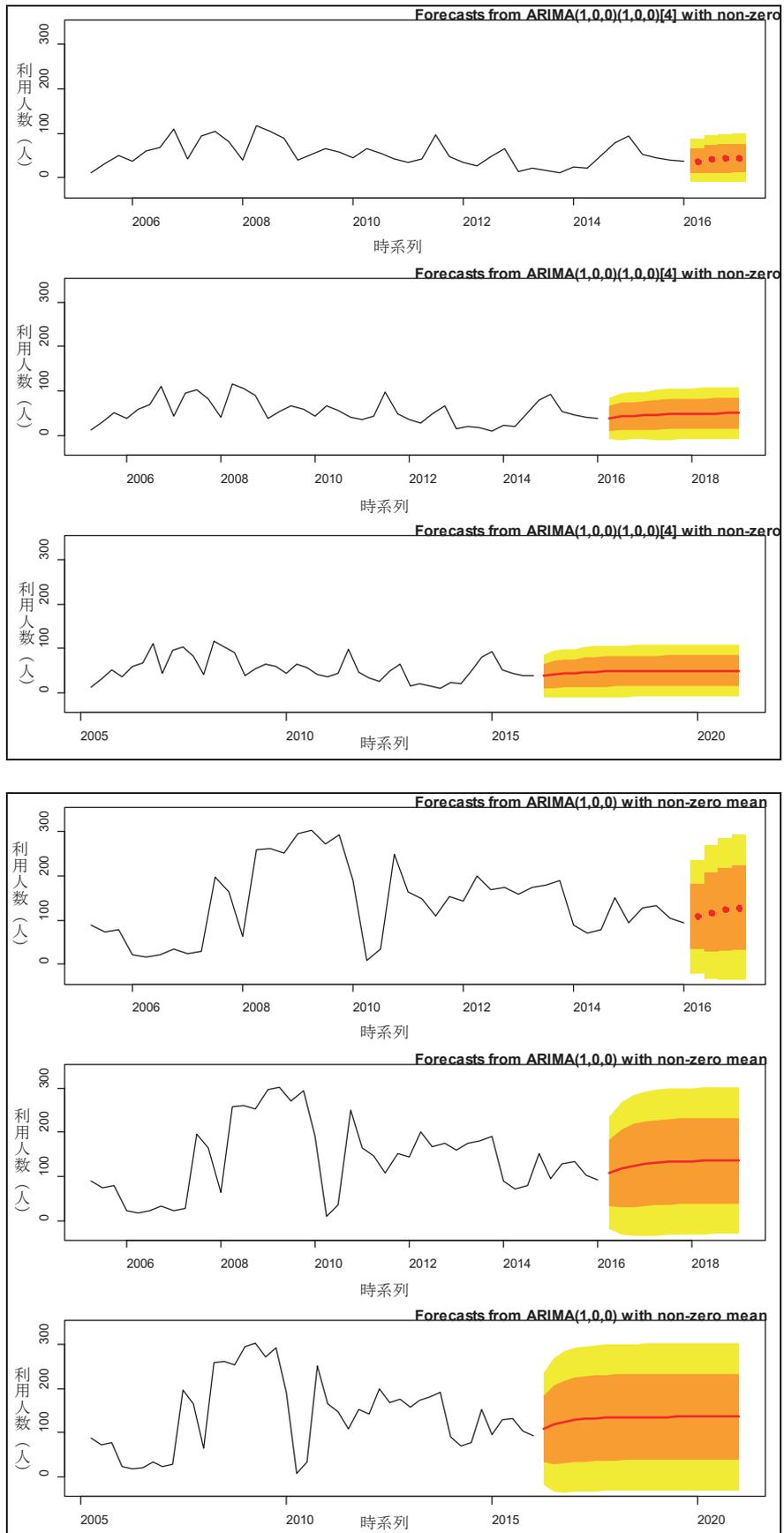


図-4. フローサイトメーターの利用人数の実績（黒線）と時系列予測結果（赤線）（上図）と超高精度電子ビーム描画装置の利用人数の実績（黒線）と時系列予測結果（赤線）（下図） [なお, 上から1年, 3年, 5年の予測結果であり, オレンジ色, 及び黄色はそれぞれ75%信頼区間, 及び95%信頼区間を表す]