

カバー先銀行の集合知による外国為替ベストレート予測

Prediction of Foreign Exchange Best Rates by Collective Knowledge of Counter Party Banks

鈴木 丈裕^{1*} 矢野 和洞¹ 鈴木 智也^{1,2}
Takehiro SUZUKI¹ Kazuto YANO¹ Tomoya SUZUKI^{1,2}

¹ 茨城大学大学院理工学研究科

¹ Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

² コラボウィズ株式会社

² CollabWiz, Inc.

Abstract: In foreign-exchange (FX) dealing, FX brokers basically cancel out the orders from their customers to prevent the price fluctuation risk by cover transactions with global megabanks called Counter Party (CP). Each CP has huge amount of money to play a role of market reader, and might have proprietary know-how to foresee future price movements. From this viewpoint, we try to extract their knowledge by a machine learning approach, and therefore we apply the stacking method that aggregates some predictors to extract the ensemble knowledge. If CP's price quotations are decided by foreseeing future price possibilities, their quotations can be considered as predictors. From this concept, we apply the stacking method to their quotations and obtain the ensemble knowledge from them. Through some simulations using real price data, we could confirm that the given ensemble knowledge improves the prediction accuracy of FX price movements compared to the machine learning using a single CP's price quotation.

1 はじめに

外国為替証拠金取引 (Foreign Exchange: FX) において、店頭外国為替証拠金取引取扱業者 (以下、FX 業者) は顧客と各国の通貨間の売買を行う際に、価格変動に伴う損失のリスクを減らすカバー取引を銀行と行う。これらのカバー先銀行をカウンターパーティ (Counter Party: CP) と呼び、FX 業者は CP から送信される各通貨間の Bid(売値) と Ask(買値) の為替レート建値 (為替相場で銀行が公表する取引価格) に基づいて顧客に提示する自社のレートを生成している。このとき CP から送信される為替レート建値を CP レート、顧客に提示する自社のレートをハウスレートと呼ぶ。ここで CP からレートを受信する構造上、ハウスレート生成に低遅延が発生する。このような受信による遅延やシステム障害による遅延により他の FX 業者と大きく異なるレートを提示してしまった場合、業者間裁定取引者 (各業者間のハウスレートの価格差を利用して収益を上げる顧客) のターゲットにされる怖れがある。ここで FX 業者が極短時間後の CP レートを予測し、ハウスレー

トを通常よりも早く更新することでこの遅延を低減できれば、収益の悪化を抑制できる。さらにレート更新の早さは、市況情報に対する正確性から顧客を多く獲得でき、他の FX 業者との競争において有利になるメリットもある。これらの観点から、CP レートの将来価格を予測することは FX 業者の収益獲得に繋がる可能性がある。

ここで将来価格の予測に関して、カバー先である CP に着眼する。各 CP 同士は収益獲得競争のため相場をある程度先読みして CP レートを生成しており、CP ごとに様々なノウハウを有している可能性がある。そこで本研究では FX 業者の立場になり [1]、各 CP の建値情報 [2] をアンサンブル学習の一種であるスタッキング [3] の概念を用いて集合知 [4-7] を抽出する。この集合知を用いることで効率的市場仮説 [8] によってランダムウォークのように予測不可能とされる為替変動に対して、どの程度予測力を高められるか検証する。

2 スタッキングによる集合知の獲得

まず一般的なスタッキングを図 1 に示す。共通のオリジナルデータを用いて複数の異なる予測モデルを学

*連絡先: 茨城大学大学院理工学研究科知能システム工学専攻
〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1
E-mail: 17nm9261@vc.ibaraki.ac.jp

習し、それらが出力した予測値に対して新たに別の予測モデルでメタ学習することで、最終的な予測値を得る [9]。これに対して本研究では図 2 に示すように、共通のオリジナルデータを全世界の市況情報と見立てて、ノウハウを有する各 CP を予測器と考える。これらをニューラルネットワークでメタ学習することで、各 CP のノウハウを統合した集合知を獲得する。この集合知が最終的な予測値として機能するのか確認するため、CP 毎の建値情報のみを機械学習する予測モデル（個別法）とスタッキングの概念を応用した提案法を比較する。

集合知の効果を示す一例として多様性予測定理 [10] を紹介する。各予測モデルから得られる予測値の分散（多様性）が大きいほど集合知の予測誤差が縮小することが知られている。全 N 個の予測モデルにおいて、第 i 番目のモデルによる個別の予測値を \hat{y}_i 、これらを統合した集合知による予測値を $E[\hat{y}] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{y}_i$ 、真値を y とすると、以下の等式が成立する。

$$(y - E[\hat{y}])^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y - \hat{y}_i)^2 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - E[\hat{y}])^2 \quad (1)$$

ここで左辺は集合知の予測誤差、右辺第 1 項は各予測モデルの平均予測誤差、右辺第 2 項は予測モデルの分散値に相当する。つまり多様な CP の建値情報を統合することで互いの不正確な予測を打ち消し合うことで集合知を獲得し、右辺第 2 項のような誤差低減効果を期待できる。

補足として、説明変数に用いる CP および通貨ペアを増やすほど機械学習に伴う入力次元数が増加するため、Deep Neural Network [11] が効果的であろう。しかし本稿の設定（次章）では比較的低次元であるため、通常の 3 層ニューラルネットワークを用いる。

3 問題設定

本研究では、2017 年 9 月 4 日から 9 月 30 日までの FX 業者に送信された計 12 社の CP レートから、「ドル円」、「ユーロ円」、「ユーロドル」の 3 つの通貨ペアを使用する。なお流動性が高く、マーケットインパクトが相対的に小さい（=市場参加者が多い）当日午前 8 時から翌日午前 5 時までを 1 日分の市場データとして扱う。そして、ある 1 日を学習期間、次の 1 日をテスト期間とする。例えば、「9 月 4 日午前 8 時から 9 月 5 日午前 5 時のデータで学習 → 9 月 5 日午前 8 時から 9 月 6 日午前 5 時のデータでテスト」のように行った。外国為替取引は土日が休みのため、1 週間に行うシミュレーションは 4 期間となり、4 週間分のデータを用いたため合計 16 期間となる。また、送信されるレートは Bid(売値) と Ask(買値) の 2 値が存在するため、16 期間 × 2 値 = 計 32 パターンのシミュレーションを実施す

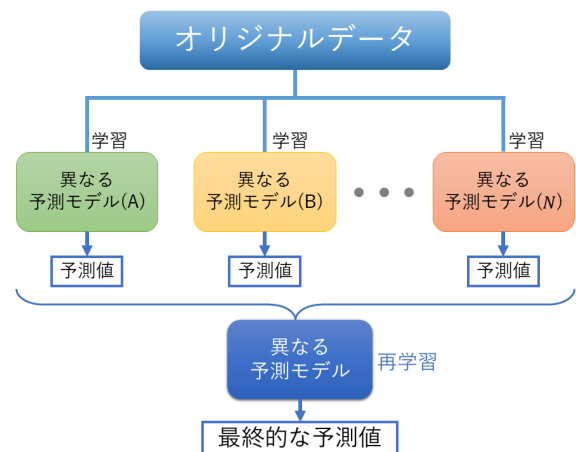


図 1: 一般的なスタッキングの例

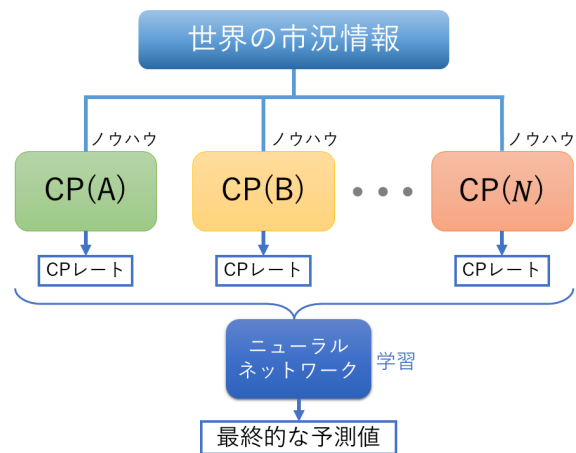


図 2: CP レートを用いたスタッキング（提案法）

る。予測対象の目的変数は時刻 $t+1$ (100[ms] 後) のドル円のベストレート (全 CP における最も高い Bid(売値) および最も低い Ask(買値)) とする。ドル円は通貨ペアの中でも流動性が高く、取引回数も多い利点がある。予測に用いる説明変数は、過去のドル円レートおよび関連するユーロ円およびユーロドルの 3 種類を用い、時間履歴を学習するように時刻を t (現在時刻)、 $t-1$ (100[ms] 過去)、 $t-2$ (200[ms] 過去) のようにラグを取ってニューラルネットワークに入力した。また、各通貨ペアにおいて為替レート $x(t)$ の価格帯が異なるため、収益率 $r(t)$ に変換した。

$$r(t) = \frac{x(t) - x(t-1)}{x(t-1)} \quad (2)$$

例として図 3 に、変換前と変換後の例を示す。ニューラルネットワークの構成として、出力層のニューロン数は 1 つであり、中間層のニューロン数は入力層の 1.1

倍 (バイアス項含む) に設定した. 入力層のニューロン数については,

- 個別法の場合 :
CP 数 (= 1) × 通貨ペア数 (= 3)
× 時間履歴数 (= 3) + バイアス項 (= 1) = 10 個
- 提案法の場合 :
CP 数 (= 12) × 通貨ペア数 (= 3)
× 時間履歴数 (= 3) + バイアス項 (= 1) = 109 個

となる. なお学習係数は全て 0.001 に設定した.

4 予測シミュレーション

4.1 正答率と F 値による評価

ニューラルネットワークの出力値である収益率 $\hat{r}(t+1)$ が正ならば次時刻の為替レート $\hat{x}(t+1)$ は上昇, 負ならば下落, 0 ならば不変とし, レート変動方向に関する正答率 A を評価する. しかし予測値 $\hat{r}(t+1)$ が丁度 0 になることは無いため, 学習対象の目的変数について標準偏差 σ を求め, この $\pm\sigma$ の範囲内の $\hat{r}(t+1)$ を不変とみなした. 正答率 A の算出には,

- 上昇と予測し, 実際には上昇した回数 : U_{win}
- 上昇と予測したが, 反して下落した回数 : U_{lose}
- 下落と予測し, 実際には下落した回数 : D_{win}
- 下落と予測したが, 反して上昇した回数 : D_{lose}

を用い, 次式によって計算する.

$$A = \frac{U_{win} + D_{win}}{U_{win} + U_{lose} + D_{win} + D_{lose}} \quad (3)$$

このように不変と予測した場合を除くことで, 元々のデータに不変の割合が多く正答率が 100[%] に近くなることを防ぐ. さらに, 上昇または下落に関する二択問題となるため, 50[%] を基準に有用性を評価できる. さらに, 正答率を算出する際にデータ数の偏りを考慮して, F 値 (F-measure) による評価も行う. これは以下の適合率 $Precision$ と再現率 $Recall$ から算出される.

- Bid(売値) レートを予測対象にする場合

$$Precision = \frac{U_{win}}{U_{win} + U_{lose}} \quad (4)$$

$$Recall = \frac{U_{win}}{U_{win} + D_{lose}} \quad (5)$$

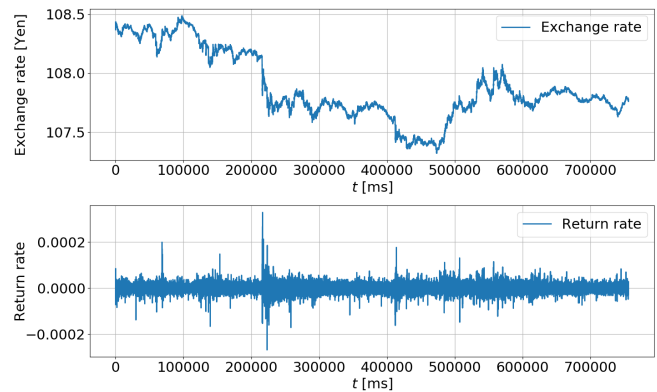


図 3: (上図) 実際の為替レート $x(t)$, (下図) 変換後の収益率 $r(t)$

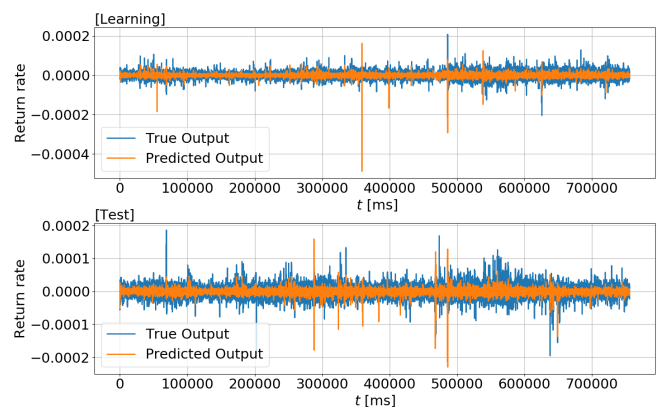


図 4: (上図) 学習時 (Learning) の真値 $r(t)$ と予測値 $\hat{r}(t)$, (下図) テスト時 (Test) の真値 $r(t)$ と予測値 $\hat{r}(t)$

- Ask(買値) レートを予測対象にする場合

$$Precision = \frac{D_{win}}{D_{win} + D_{lose}} \quad (6)$$

$$Recall = \frac{D_{win}}{D_{win} + U_{lose}} \quad (7)$$

これらの F 値は以下のように算出される.

$$F = \frac{2Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (8)$$

4.2 結果および考察

図 4 はある学習期間・テスト期間の収益率 (Return rate) の真値と予測値を示している. True Output は真値, Predicted Output は予測値である. このような結果に基づいて, 提案法と個別法を比較した正答率の結果を表 1, F 値の結果を表 2 に示す. 例として「9

月5日」が示すのは、9月5日午前8時から9月6日午前5時である。各表において、個別法による結果を「CP(A),CP(B),...,CP(L)」の各項目に示す。また、個別法による結果の平均値を $Mean\{CP\}$ と表す。表中の各項目において、Bid(売値)とAsk(買値)をそれぞれ予測した結果を同時に示している。これらより、提案法は必ずしも常に1位ではないが、安定して上位を保っている。対して個別法は良くなる場合も悪くなる場合もあり、順位が安定しない。この結果から、集合知の効果が発揮されていると考えられる。また、9月15日のように提案法の値が著しく低い場合も確認できる。これは学習期とテスト期で相場が大きく異なり、学習した市場の動きがテスト期に適用していないためと考えられる。(2017年9月15日は北朝鮮が弾道ミサイルを発射し、北海道上空を通過した後太平洋上に落下し、飛行距離が過去最長の約3700kmに達したとされたニュースがあり、これが為替変動に影響を及ぼした可能性がある。) またF値において個別法の結果に大きな差が確認できるため、 $+\sigma$ を上回り上昇と判別されたデータ数と、 $-\sigma$ を下回り下落と判別されたデータ数に偏りがあると考えられる。

さらに図5および図6に示すように、正答率とF値について、提案法と個別法(平均値)の比較を行った。図5は正答率、図6はF値を示す。それぞれBid(売値)とAsk(買値)の予測結果を示している。これらより、正答率は「9/14のAsk」と「9/15」の2期間を除く全ての期間、F値は全ての期間において、提案法が個別法(平均値)を上回る結果となった。これらは各CPによって異なる将来価格の見通しを集団学習によって統合することで、より先見力のある集合知を獲得できたことを示しており、この結果からも集合知の効果が発揮されていると考えられる。また、もし市場がランダムウォークならば正答率は上昇か下落の二択問題により50[%]になると考えられるが、提案法ではほぼ全ての期間で70[%]から80[%]を超える値を示しており、個別法(平均値)においてもほとんどの期間で50[%]を超えている。したがって各CPは市場を予測するノウハウを持っており、さらにスタッキングによってより優れた集合知を獲得できたと考えられる。

5 まとめ

本研究では、外国為替取引を仲介するFX業者の立場になり、各CPから配信される建値を各予測器からの出力値とみなし、これらをスタッキングによって集団学習する価格予測モデルを提案した。実際の建値データを用いた予測シミュレーションを通じて、個別のCP毎で予測モデルを構築するよりもスタッキングによって全CPを統合することで予測精度を向上できることを確認した。

6 今後の課題

自発的な収益獲得のため、本提案手法による価格予測を自己売買の判断材料に利用できる可能性がある。これについて投資シミュレーションを通じて検討する。また本稿においては100[ms]先を予測対象としているが、今後は200[ms]先や300[ms]先のように予測期間を延長しつつ、予測力を保持できるか検証する。

本研究の一部は、文科省科研費基盤研究(C)(No.16K00320)の助成により行われました。

参考文献

- [1] 本研究は某店頭外国為替証拠金取引取扱業者との共同研究である。
- [2] 某店頭外国為替証拠金取引取扱業者から入手した。
- [3] Trevor Hastie, Robert Tibshirani and Jerome Friedman, *The Elements of Statistical Learning*, Springer, 2008.
- [4] Scott E. Page, *The Difference: How the Power of Diversity Creates Better Groups, Firms, Schools, and Societies*, Princeton University Press, 2008.
- [5] James Surowiecki, *The Wisdom of Crowds*, Anchor, 2005.
- [6] Tomoya Suzuki and Yuushi Ohkura, "Financial Technical Indicator Based on Chaotic Bagging Predictors for Adaptive Stock Selection in Japanese and American Markets," *Physica A*, vol.442, pp.50–66, 2016.
- [7] Tomoya Suzuki, "Consensus Ratio and Two-steps Selection to Detect Profitable Stocks," *International Federation of Technical Analysts (IFTA) Journal*, vol.18, pp.4–14, 2018.
- [8] Eugene F. Fama, "Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work," *Journal of Finance*, vol.25, no.2, pp.383–417, 1970.
- [9] Zhi-Hua Zhou, *Ensemble Methods Foundations and Algorithms*, Taylor & Francis Group, 2012.
- [10] 西垣通, *集合知とは何か*, 中公新書, 2013.
- [11] Tomoya Onizawa, Takehiro Suzuki, Tomoya Suzuki, "Predictability of Financial Market Indexes by Deep Neural Network," *Proceedings of 2017 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications*, pp.166–169, 2017.

表 1: 各テスト期間における正答率 [%] : Bid(左)/Ask(右). 各列において正答率が高い3位までを太字で示す.

| テスト期間 | 9月5日 | 9月6日 | 9月7日 | 9月8日 | 9月12日 | 9月13日 | 9月14日 | 9月15日 |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| CP(A) | 77.77/55.00 | 59.24/62.27 | 67.31/65.06 | 66.23/67.39 | 68.80/62.70 | 67.31/ 72.73 | 61.68/50.79 | 73.38/74.41 |
| CP(B) | 78.83 /63.84 | 72.91/70.32 | 61.46/51.37 | 64.93/74.03 | 44.35/62.45 | 71.67 /68.55 | 0.00/0.00 | 0.00/0.00 |
| CP(C) | 36.70/49.28 | 68.19/51.34 | 62.48/64.25 | 68.50/63.80 | 56.55/51.71 | 70.88 /56.79 | 59.17/44.48 | 70.38/49.59 |
| CP(D) | 65.85/35.47 | 63.07/68.42 | 72.86 /70.60 | 72.83 /66.26 | 74.38 /72.85 | 68.58/71.29 | 69.46/75.07 | 62.47/50.60 |
| CP(E) | 76.51/ 71.00 | 69.34/ 72.14 | 61.36/ 72.16 | 68.93/ 74.53 | 74.21/78.77 | 63.75/70.93 | 62.44/37.32 | 79.54/61.03 |
| CP(F) | 71.43/33.33 | 61.89/71.44 | 66.28/54.39 | 59.04/73.76 | 55.11/66.75 | 46.81/72.36 | 57.96/56.70 | 71.53/50.75 |
| CP(G) | 74.98/65.90 | 75.98/77.03 | 68.23/67.88 | 71.32/ 79.89 | 74.09/72.78 | 41.88/ 75.81 | 65.60/68.56 | 71.94/68.39 |
| CP(H) | 60.71/64.67 | 68.94/69.99 | 69.13/60.10 | 69.77/58.95 | 66.48/65.83 | 59.18/59.42 | 60.37/51.05 | 75.74/65.37 |
| CP(I) | 56.41/62.82 | 52.06/57.54 | 56.08/55.32 | 54.17/57.14 | 53.41/66.91 | 64.47/51.92 | 61.88/53.87 | 63.55/ 72.33 |
| CP(J) | 68.63/ 69.29 | 75.48/70.38 | 68.96/62.52 | 52.28/73.60 | 67.16/ 74.89 | 68.97/56.94 | 68.98/70.21 | 70.94/63.66 |
| CP(K) | 29.82/53.93 | 75.90/70.05 | 74.98 /65.50 | 80.15 /65.65 | 72.98/67.92 | 67.98/71.29 | 66.37/69.70 | 69.53/84.29 |
| CP(L) | 57.14/48.24 | 63.36/67.55 | 56.06/ 71.14 | 70.71/60.52 | 62.68/61.21 | 48.11/65.48 | 47.14/44.21 | 68.45/59.80 |
| Mean{CP} | 62.90/56.06 | 67.20/67.37 | 65.43/63.36 | 66.57/67.96 | 64.18/67.06 | 61.63/66.13 | 56.75/51.83 | 64.79/58.35 |
| 提案法 | 80.91/77.78 | 78.67/77.29 | 76.96/75.80 | 79.24/80.40 | 76.09/78.03 | 75.85/77.68 | 64.29/49.13 | 48.00/56.67 |

| テスト期間 | 9月19日 | 9月20日 | 9月21日 | 9月22日 | 9月26日 | 9月27日 | 9月28日 | 9月29日 |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| CP(A) | 69.86/71.41 | 60.34/58.35 | 70.32/66.02 | 70.24/ 77.45 | 72.50/70.61 | 71.84/57.80 | 62.67/70.97 | 71.86/59.94 |
| CP(B) | 66.68/68.34 | 68.03/69.32 | 75.03 /71.86 | 78.95/69.24 | 66.14/67.20 | 72.85/68.83 | 68.99/68.04 | 72.72/71.87 |
| CP(C) | 63.02/47.49 | 52.53/62.97 | 65.25/57.79 | 59.32/66.67 | 44.03/49.27 | 65.16/62.30 | 57.11/53.14 | 51.79/57.34 |
| CP(D) | 55.82/71.67 | 57.96/68.48 | 45.45/76.82 | 81.97 /69.77 | 67.34/56.02 | 73.50/75.05 | 71.34/ 73.60 | 80.00/79.45 |
| CP(E) | 72.07 /63.38 | 42.42/ 69.80 | 51.35/60.00 | 81.66 /72.14 | 75.11 /69.85 | 80.17 /69.49 | 79.63/77.30 | 74.03/ 78.62 |
| CP(F) | 62.36/ 77.11 | 58.35/65.39 | 67.98/70.62 | 56.93/74.70 | 67.38/73.05 | 56.71/69.17 | 66.86/67.94 | 64.54/71.94 |
| CP(G) | 71.76/68.49 | 67.25 /69.00 | 63.30/ 78.52 | 80.68 /74.34 | 68.22/ 77.35 | 67.47/71.73 | 67.31/70.33 | 80.05 /75.74 |
| CP(H) | 73.63 /68.08 | 63.26/56.50 | 75.00/66.42 | 46.00/58.82 | 67.20/66.27 | 71.56/66.89 | 51.59/71.33 | 56.34/71.43 |
| CP(I) | 63.13/48.35 | 62.54/51.41 | 67.98/68.23 | 56.25/72.55 | 72.45/59.93 | 68.31/64.93 | 66.66/72.63 | 54.58/59.06 |
| CP(J) | 70.16/70.91 | 62.61/46.66 | 65.88/ 83.36 | 77.52/ 77.76 | 69.20/65.01 | 58.23/72.01 | 66.57/70.21 | 71.06/65.70 |
| CP(K) | 68.56/ 76.08 | 66.68/68.21 | 67.12/54.31 | 76.60/70.94 | 73.98 /72.25 | 44.30/ 78.25 | 68.77/72.04 | 71.55/69.03 |
| CP(L) | 71.70/52.87 | 49.16/44.58 | 77.98 /74.61 | 78.60/67.53 | 68.19/73.92 | 70.94/70.51 | 72.78 /58.57 | 64.52/66.34 |
| Mean{CP} | 67.40/65.35 | 59.26/60.89 | 66.05/69.05 | 70.39/70.99 | 67.65/66.73 | 66.75/68.91 | 66.69/68.84 | 67.75/68.87 |
| 提案法 | 73.53/75.87 | 71.87/71.55 | 76.75/84.62 | 77.22/ 78.86 | 78.55/80.36 | 77.93/78.55 | 79.49/78.85 | 79.71/80.09 |

表 2: 各テスト期間におけるF値 [%] : Bid(左)/Ask(右). 各列においてF値が高い3位までを太字で示す.

| テスト期間 | 9月5日 | 9月6日 | 9月7日 | 9月8日 | 9月12日 | 9月13日 | 9月14日 | 9月15日 |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| CP(A) | 6.07/45.45 | 73.82/63.18 | 64.43/63.72 | 59.14/74.22 | 69.13/60.02 | 67.10/71.31 | 63.44/51.69 | 74.65/85.14 |
| CP(B) | 0.44/67.24 | 71.95/ 73.77 | 57.32/31.18 | 65.58/1.19 | 61.45/66.63 | 68.10/72.40 | 0.00/0.00 | 0.00/0.00 |
| CP(C) | 31.21/65.79 | 70.33/48.77 | 68.21/ 76.89 | 17.57/69.05 | 34.18/40.93 | 41.81/40.26 | 69.97 /2.00 | 30.99/61.13 |
| CP(D) | 51.59/16.59 | 4.96/ 75.86 | 70.92 /74.78 | 83.96 /78.49 | 62.83/75.89 | 68.23 /73.09 | 63.81/0.85 | 68.59/63.72 |
| CP(E) | 85.67/69.69 | 70.46/70.91 | 64.26/ 75.42 | 81.06/84.36 | 74.67/77.81 | 11.60/ 78.91 | 56.20/25.07 | 77.31 /5.12 |
| CP(F) | 83.33 /40.00 | 47.47/36.52 | 63.00/56.22 | 9.41/72.22 | 68.27/59.87 | 40.97/69.09 | 71.23 /25.46 | 70.81/28.22 |
| CP(G) | 60.24/0.28 | 75.70 /73.73 | 28.93/ 79.15 | 19.72/ 84.45 | 71.40/74.98 | 43.54/13.24 | 62.48/45.62 | 77.21 /5.51 |
| CP(H) | 72.35/65.39 | 23.80/66.84 | 69.36/57.11 | 78.64/31.32 | 59.79/44.40 | 6.08/44.42 | 63.29/63.30 | 60.20/ 79.03 |
| CP(I) | 4.57/ 69.33 | 38.71/65.79 | 57.19/27.62 | 67.81/71.26 | 18.52/29.64 | 29.34/35.01 | 65.46/ 64.27 | 43.07/24.80 |
| CP(J) | 79.26/61.11 | 75.01/68.15 | 69.70/12.42 | 46.51/ 84.38 | 68.56/ 78.62 | 68.34 /8.24 | 7.59/15.13 | 74.39/76.01 |
| CP(K) | 25.93/29.88 | 77.03 /68.65 | 74.98 /63.20 | 84.96 /71.41 | 74.81 /72.64 | 55.37/67.36 | 50.04/ 77.70 | 73.33/ 87.36 |
| CP(L) | 66.67/60.71 | 52.65/69.25 | 62.98/71.65 | 72.78/37.62 | 54.39/47.05 | 45.97/ 74.79 | 39.19/47.25 | 52.58/46.67 |
| Mean{CP} | 47.28/49.29 | 56.82/65.12 | 62.61/57.45 | 57.26/63.33 | 59.83/60.71 | 45.54/54.01 | 51.06/34.86 | 58.59/46.89 |
| 提案法 | 79.73/78.00 | 77.91/76.89 | 76.25 /74.76 | 78.07/80.07 | 75.76/76.81 | 75.29/76.72 | 73.68/65.89 | 62.86/72.34 |

| テスト期間 | 9月19日 | 9月20日 | 9月21日 | 9月22日 | 9月26日 | 9月27日 | 9月28日 | 9月29日 |
|----------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| CP(A) | 73.26 /72.68 | 56.50/32.47 | 81.77 /48.96 | 5.26/77.17 | 73.74/ 81.78 | 35.10/54.79 | 76.77/68.57 | 72.71/68.26 |
| CP(B) | 65.78/65.47 | 63.01/ 68.81 | 41.38/1.29 | 74.10/68.71 | 15.66/60.96 | 11.96/61.49 | 81.25 /62.42 | 53.71/73.77 |
| CP(C) | 37.18/52.17 | 31.17/68.78 | 0.18/10.87 | 66.76/ 78.79 | 34.91/57.46 | 76.20/62.81 | 26.56/48.11 | 28.85/12.37 |
| CP(D) | 57.32/65.09 | 65.92/67.01 | 45.45/14.63 | 55.17/45.83 | 69.72/32.26 | 77.48/75.48 | 67.08/5.00 | 80.20 /72.64 |
| CP(E) | 79.17/77.44 | 45.01/56.18 | 10.00/60.00 | 60.08/ 80.14 | 74.90 /70.10 | 86.15 /66.98 | 79.87/72.87 | 81.98/77.36 |
| CP(F) | 47.83/75.78 | 44.78/59.56 | 66.94/0.35 | 71.46/ 82.82 | 22.93/67.69 | 30.95/66.98 | 16.78/43.58 | 47.83/59.40 |
| CP(G) | 69.95/66.51 | 72.35 / 81.28 | 7.59/ 76.37 | 50.61/71.68 | 74.90 /77.14 | 68.81/46.25 | 64.57/54.63 | 50.33/48.59 |
| CP(H) | 57.95/ 79.71 | 75.10 /59.54 | 76.16 / 65.30 | 52.63/60.51 | 24.98/44.77 | 64.73/68.62 | 55.77/ 68.96 | 9.10/19.94 |
| CP(I) | 31.05/59.76 | 73.92 /55.74 | 80.83 /0.90 | 48.15/28.61 | 56.65/72.51 | 70.36/56.40 | 60.65/19.83 | 68.67/69.51 |
| CP(J) | 66.03/16.36 | 54.43/35.07 | 69.91/40.50 | 77.57 /71.97 | 69.58/ 77.67 | 18.54/65.35 | 71.31/19.44 | 73.27/76.27 |
| CP(K) | 14.11/ 80.43 | 57.32/12.42 | 25.00/60.74 | 74.32 /48.49 | 74.29/71.71 | 55.78/47.74 | 4.32/61.29 | 47.38/ 78.15 |
| CP(L) | 82.88 /62.36 | 42.46/34.52 | 1.00/58.00 | 1.86/64.08 | 71.41/25.75 | 48.29/ 69.66 | 8.70/27.18 | 36.64/68.35 |
| Mean{CP} | 56.88/64.48 | 56.83/52.62 | 42.18/36.49 | 53.16/64.90 | 55.31/61.65 | 53.70/61.88 | 51.14/45.99 | 54.22/60.38 |
| 提案法 | 72.66/75.34 | 71.27/ 70.74 | 71.87/ 84.03 | 76.90 /77.87 | 77.86/79.58 | 77.66/78.01 | 79.16/77.83 | 78.30/79.00 |

※「0.00」は予測値が全て ±σ の範囲内となり、不変と判別されたためである。

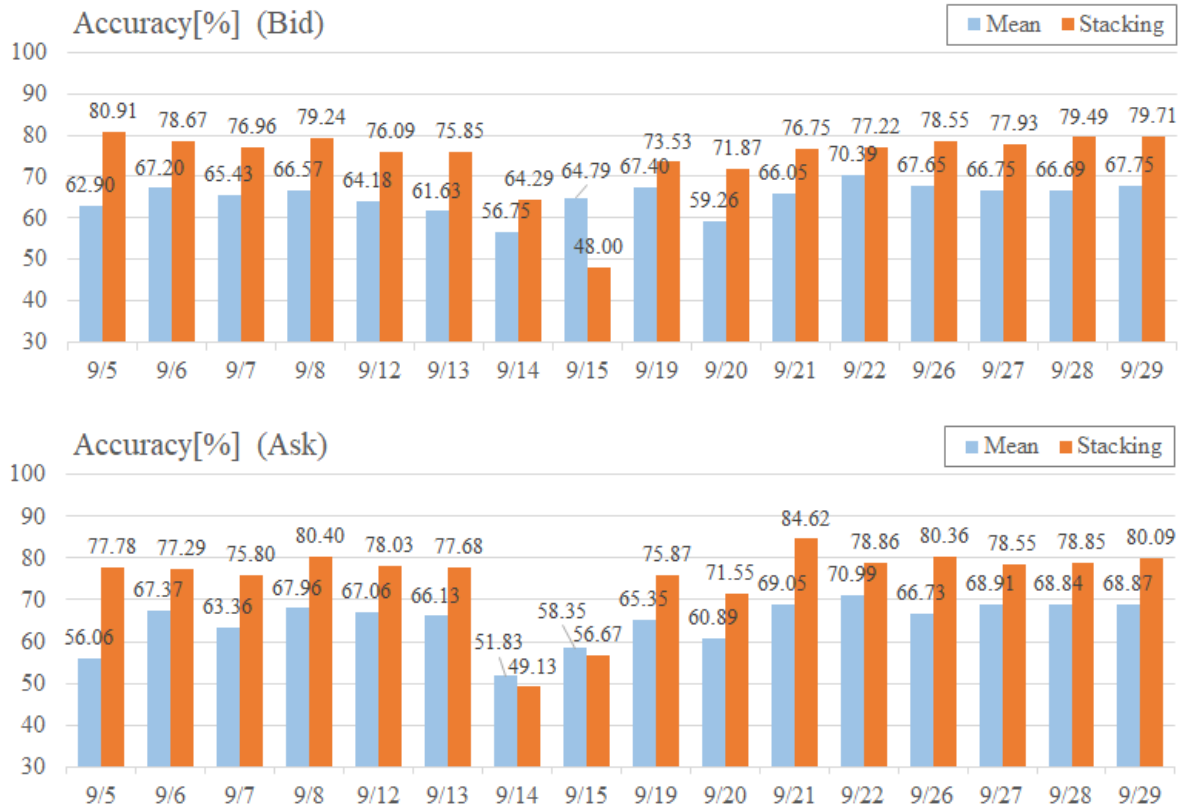


図 5: Mean(個別法 (平均値)) および Stacking(提案法) による Accuracy(正答率) の比較

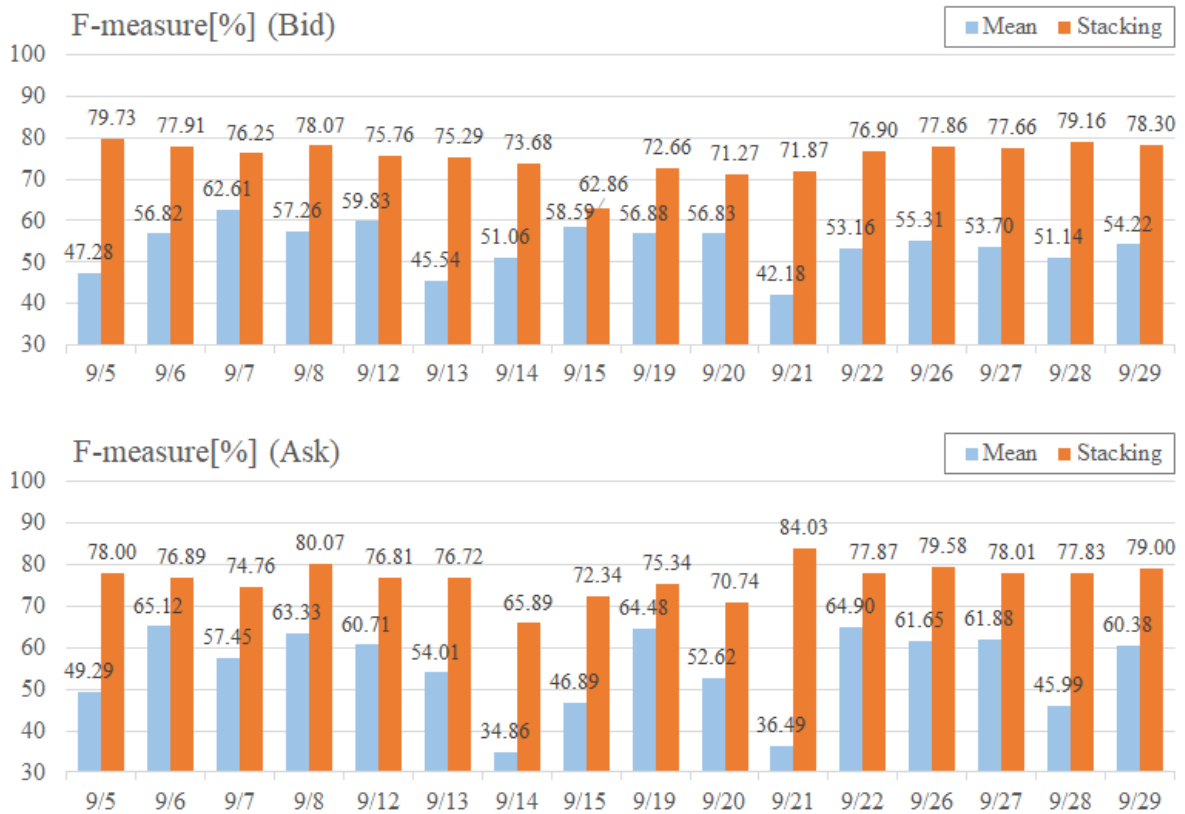


図 6: Mean(個別法 (平均値)) および Stacking(提案法) による F-measure(F 値) の比較