

“忘れて知識を正す”：  
 社会的インタラクションから見る忘却の適応的性質  
**Forgetting aids correction of knowledge:  
 Adaptive nature of forgetting in social interaction**

本田 秀仁<sup>†</sup>, 松香 敏彦<sup>‡</sup>  
 Hidehito Honda, Toshihiko Matsuka

<sup>†</sup>国立情報学研究所, <sup>‡</sup>千葉大学  
 National Institute of Informatics, Chiba University  
 hhonda@nii.ac.jp, matsukat@muscat.L.chiba-u.ac.jp

### Abstract

We examined the function of forgetting in terms of social interaction. To this end, we conducted multi-agents simulations and examined how forgetting aided knowledge acquisition through communications. Results of simulation studies showed that forgetting helped acquisition of accurate knowledge. Furthermore, this beneficial effect of forgetting was observed when agents were connected in “small world network,” which represents some parts of real world network.

**Keywords — forgetting, knowledge acquisition, cognitive-social interaction, small world network**

## 1. はじめに

我々の記憶機能には制約がある。その中の一つが忘却である。記憶における忘却は通常、負の側面として見なされることが多い。実際、記憶に関する心理学的研究では“情報の損失”という視点から忘却について研究されることが多い (e.g., Koriat, Goldsmith, & Pansky, 2000)。しかしながら忘却は負の側面しか持ち合わせていないのであろうか。本研究では逆の視点、すなわち適応的側面から忘却が持つ性質について議論を行う。

## 2. 忘却が持つ適応的性質

先行研究において、忘却が持つ適応的性質について様々な視点から議論が行われてきた。Luria (1968)は S. V. Shereshevskii の驚異的な記憶容量と彼の特徴的行動について記述している。Shereshevskii は無意味音節を記憶し、8年後にテストを行ったところ、完璧に回答することが出来た。このように Shereshevskii はコンピュータのハ

ードディスクのような忘却のない記憶能力を有していた。一方で大変興味深いのは、キーワードから推論が求められる簡単な穴埋め問題を解けなかったり、また人の顔を覚えることが不得意であった点である。このことから、推論問題で求められる断片的な情報から別の情報を引き出す、また顔の記憶で必要になると考えられる特徴から要約的情報を作り出すプロセスにおいて忘却が重要な役割を果たしている可能性を示唆している。Luria の報告はあくまでエピソード的な事例であるが、実験研究 (e.g., Altman & Gray, 2002) や理論的研究で (e.g., Anderson & Milson, 1989; Schooler & Hertwig, 2005) 有用な情報を適応的に記憶していくプロセスにおいて忘却が重要な役割を果たしていることが示されている。このように一見すると記憶機能の負の側面にも見える忘却は我々の様々な適応的行動の基盤になっている可能性が示されている。これらの先行研究は基本的に個人内における認知プロセスに焦点を当てた上で忘却の適応的性質について議論を行っている。つまり独立した個人内における忘却の適応的性質を示したことになる

しかしながら我々の行為は個人内ですべて帰結するわけではない。我々の行為の多くは他者との社会的なインタラクションを通じて生み出されている (e.g., Pentland, 2008)。よって人間の認知機能を理解していく上で社会的インタラクションは必要不可欠な分析視点であると考えられる。それでは社会的なインタラクションという文脈において忘却はどのような役割を果たしているのである

うか。このような視点で忘却の性質について検討を行った先行研究としては、Stevens, Volstorf, Schooler, and Rieskamp (2011)の研究が挙げられる。Stevens et al. (2011)は繰り返しの囚人のジレンマゲームにおける協力行動の発生プロセスについて、マルチエージェントシミュレーションを通じて検討したところ、パートナーの過去の行動について忘却を仮定した場合、協力行動が通常より生じにくくなることを示した。この研究は社会的インタラクション場面においても忘却が重要な役割を果たしている可能性を示している。

### 3. 本研究の目的

本研究では個々が他者とのコミュニケーションを通じて知識を獲得していく場面における忘却の機能について検討を行う。知識を獲得していく上で社会的インタラクションの重要性が先行研究で指摘されているが (Mason, Conrey, & Smith, 2007)、この時に忘却が果たしている機能については明らかになっていない。またこの社会的インタラクションを通じて知識を獲得していく際、個々のつながりを示すネットワーク構造が非常に重要な役割を果たしていることが先行研究において示されているが (Cowan & Jonard, 2004; Honda & Matsuka, 2011)、個々の認知機能と個々のネットワーク構造の相互作用的な影響については明らかになっていない。

以上、本研究では、1) 社会的インタラクションを通じた知識獲得場面において忘却が果たしている役割、2) 忘却機能と個々のネットワーク構造の相互作用的影響、以上2点について、コンピュータシミュレーションに基づき理論的に検討を行う。

### 4. 知識獲得に関するマルチエージェントモデル

本研究では、Honda and Matsuka (2011)のモデルを用いた。以下でモデルの概要を説明する。  
ネットワーク：ネットワーク上に1000のエー

ジェントを設置した。エージェント間のつながりは Watts and Strogatz (1998)が提唱した small world networkによって定義した(以下 WSモデルとする)。このモデルは以下のような手順で構成される

- 1)  $n$  個の頂点 (i.e., 人間を表現している) を輪上に並べる。
- 2) 各頂点から  $k$  本の枝 (i.e., 人間関係があることを意味する) を近隣の  $k$  個の頂点に対して結ぶ。
- 3) 確率  $p_{rw}$  で枝を付け替える。なおこの際、一方の頂点は固定して、もう一方の頂点を付け替える。

図1に上記の手続きで作成した WSモデルを示す。本研究でのパラメータは、 $n = 1000, k = 10$  として、

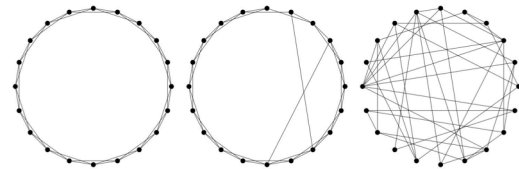


図1 WSモデル ( $n = 20, k = 4$ )。  $p_{rw}$  は左から 0, 0.1, 1。

$p_{rw}$  としては 0, 0.1, 1 の3つの値を用いた。

**知識：**各エージェントは計100項目の知識を学習した。本モデルでは各項目に対して、エージェントは3つの知識状態、(正)、(不正)、(無)を持つものと仮定した。(正)・(不正)は事実に対して正しい、あるいは誤っている知識状態、また(無)は知識を何も持っていない状態、または分からない状態であることを意味している。

**知識の初期値：**各エージェントは初期には“少なく、やや正しい知識”を持つものと仮定した。初期に持つ(正)は平均10、標準偏差2.5の正規分布から、(不正)の数は平均9、標準偏差2.5の正規分布からランダムサンプリングにより決定した。即ち平均的なエージェントが持つ100項目の知識状態の初期値は、(正)が10、(不正)が9、(無)が81であった。

**記憶容量と忘却**：各エージェントは学習できる項目数、即ち 100 項目のうち知識状態として(正)、(不正)をとれる数の上限を記憶容量とした。記憶容量としては 5 つの条件を設け、学習できる項目数の上限の平均は 60・70・80・90 または 100、標準偏差 10 の正規分布からのランダムサンプリングにより決定した<sup>1</sup>。忘却は以下のようなプロセスで生じるものとする。もし新たな学習の結果、(正)・(不正)の数が容量の上限を越えた場合、学習前に知識状態が(正)・(不正)だった項目のうち一つが(無)になるものとした。

**コミュニケーション**：各知識項目の状態はエージェントが 1 対 1 コミュニケーションを行うことによって更新していくものとする。具体的には、コミュニケーションによってエージェントは確信度を算出し、算出された確信度に基づいて知識状態が更新される。

確信度は以下のように算出される。3 つの知識状態、(正)・(不正)・(無)はそれぞれ 1, 0.5, 0 で表現される。 $i, j$  をコミュニケーションを行うエージェント、 $k_{im}, k_{jm}$  を項目  $m$  に関してエージェント  $i, j$  が持っている知識状態であるとする。エージェント  $i, j$  がコミュニケーションを行う時、エージェント  $i$  は以下の式により確信度を算出する。

$$Conf_{im} = (1 - \alpha_i^{0.1t_{im}+1})k_{im} + \alpha_i^{0.1t_{im}+1}k_{jm} \quad (1)$$

パラメータ  $\alpha_i$  は他者の知識状態に対しての相対的な重みづけを意味している。数値は 0 から 1 の間の値を取り、各エージェントが確信度を更新する際に他者の知識をどの程度信じるか、といった心理的特性を表現するパラメータである。なおこのパラメータはエージェントごとに平均 0.5、標準偏差 0.1 の正規分布からランダムサンプリングにより決定された。 $t_{im}$  はエージェント  $i$  が項目  $m$  に関して行われたコミュニケーションの回数を示している。初期値は 0 を取り、コミュニケーションが行われるごとに 1 ずつ加算されていく。

算出された  $Conf_{im}$  に基づいてエージェント  $i$  の項目  $m$  に対する知識状態が更新される。表 1 にエージェント  $i$  が項目  $m$  の知識状態として、更新後に取りうる確率を示す。

以上の計算は以下のような知識獲得プロセスを表現していると言える。まず、学習初期の段階において (i.e.,  $t_{im}$  は小さい値を取る)、知識は他者の影響を受けやすく、変化しやすい。しかし学習が進むにつれ (i.e.,  $t_{im}$  は大きい値を取る)、知識は他者の影響をあまり受けず変化しにくくなる。

表 1. 更新後にエージェント  $i$  の項目  $m$  の知識状態が取る確率

	(正)	(無)	(不正)
$Conf_{im} > 0.5$	$Conf_{im}$	$1 - Conf_{im}$	0
$Conf_{im} = 0.5$	0	1	0
$Conf_{im} < 0.5$	0	$Conf_{im}$	$1 - Conf_{im}$

**シミュレーションの概要**：表 2 に示すような 4 つのステップを 1 コミュニケーションと見なした。1 ペリオドを 2000 コミュニケーションと定義して、最低 3000 ペリオドの分のコミュニケーションを実施した。3000 ペリオド以降のペリオド  $T$  においてネットワーク内で獲得された知識のうち、正しい知識の割合を  $RA$  (relative accuracy) とし、以下の収束基準  $EC_T$  (Equilibrium Criterion) を算出した。

$$EC_T = \sum_{T-999}^T \left( 1 - \frac{RA_{T-1}}{RA_T} \right) \quad (2)$$

本シミュレーションでは  $EC_T$  の絶対値が 0.001 未満になった時、学習が収束したものとみなした。連続して  $RA$  が上昇、あるいは下降するトレンドを持つと  $EC_T$  は 0 から逸脱した値を取る。よって  $EC_T$  が 0 に近づいているというのは、誤差変動成分以外についてはトレンドが見られないことを意味する。

本研究では付け替え確率  $p_{rw}$  の 3 つ値から作ったネットワークの各記憶容量条件に関して、それぞれ 30 回シミュレーションを実施した。

<sup>1</sup> なおランダムサンプリングの際の最大値は 100 とする。また平均値 100 の条件の標準偏差は 0、即ちすべてのエージェントが 100 項目学習できるものとした。

## 5. 結果・考察

**獲得された知識の正確性**：図2に30回のシミュレーションのRAの平均値を示している。この結果は2点にまとめられる。まず  $p_{rw}$  が0と1の場合、記憶容量によってRAに大きな違いはなく、知識獲得プロセスにおいて忘却の影響はあまりなかった。一方  $p_{rw} = 0.1$  の場合、記憶容量が大きくなればなるほどRAは低くなった。つまり忘却が生じることによって獲得される知識はより正確になることを示している。

相対的な正確性の指標であるRAを指標に用いた分析では最終的に獲得された知識数は考慮に入られていない。記憶容量の違いにより獲得できる知識数が異なるので、どれだけ多くの正確な知識を獲得できたのか、という量的な視点も分析に入れるべきであろう。そこで以下に記すDiffという指標も分析に用いる。

$$Diff = N_{correct} - N_{incorrect} \quad (3)$$

ここで  $N_{correct}$  はエージェントが最終的に獲得した(正)の知識数、 $N_{incorrect}$  はエージェントが獲得した(不正)の知識数を示している。Diffを各エージェント毎に算出して、その平均値(i.e., 1000 エージェント×30 シミュレーションの平均値)を図3に示す。まず  $p_{rw} = 0$  においてはDiffは記憶容量の影響はあまり受けていない。これは図2で示しているようにRAが常に0.5に近いことに起因すると思われる。 $p_{rw} = 0.1$  においてはピ

ークが記憶容量70-80の間に存在していると考えられる。よって、正しい知識をより多く獲得するという量的視点も考慮に入れた場合、中程度の記憶容量をエージェントが持つ場合に正確な知識をより多く獲得できるということが示された。 $p_{rw} = 1$  においては記憶容量がより多くなればなるほどより多くの知識を獲得している。RAが記憶容量に関係なくほぼ一定であったことからこのような結果が得られたと言える。

以上、忘却が知識獲得プロセスに影響を与えていることが明らかになった。特に注目すべき点は  $p_{rw}$  が0.1の時の影響であり、正しい知識を獲得していくという点において忘却は適応的に機能していることが明らかになった。

**獲得された知識の多様性**：次に獲得された知識の性質について分析する。例えばRAが0.7の場合、ネットワークのエージェントが獲得した知識の性質として、極端な例としては以下の2事例が考えられる。一つが100項目中、70項目に対してすべてのエージェント(正)の知識を持ち、残りの30項目に(不正)の知識を持つ、というものである。もう一つの可能性は各項目において70%のエージェントが(正)を持ち、残りの全ての30%のエージェントが(不正)の知識を持つ、というものである。前者はすべてのエージェントが同じ知識状態を持つという意味において獲得された知識に多様性が存在せず、後者は異なる知識状態が存在しているという意味において多様性が存在し

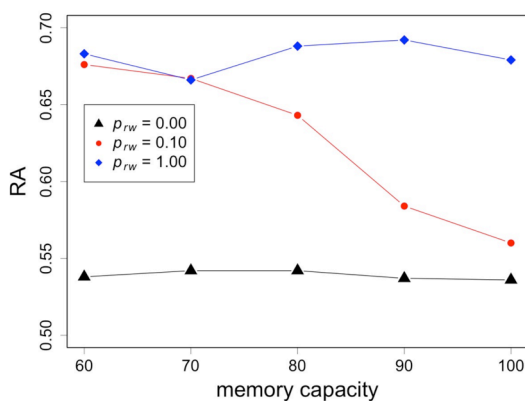


図2. 獲得された知識の相対的正確性 (RA) の平均値

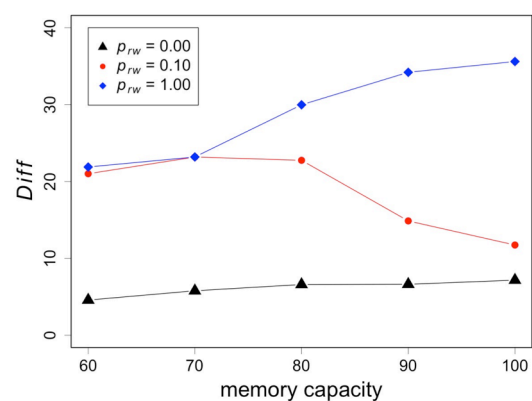


図3. 獲得された知識の正確な知識数と誤った知識数の差 (Diff) の平均値

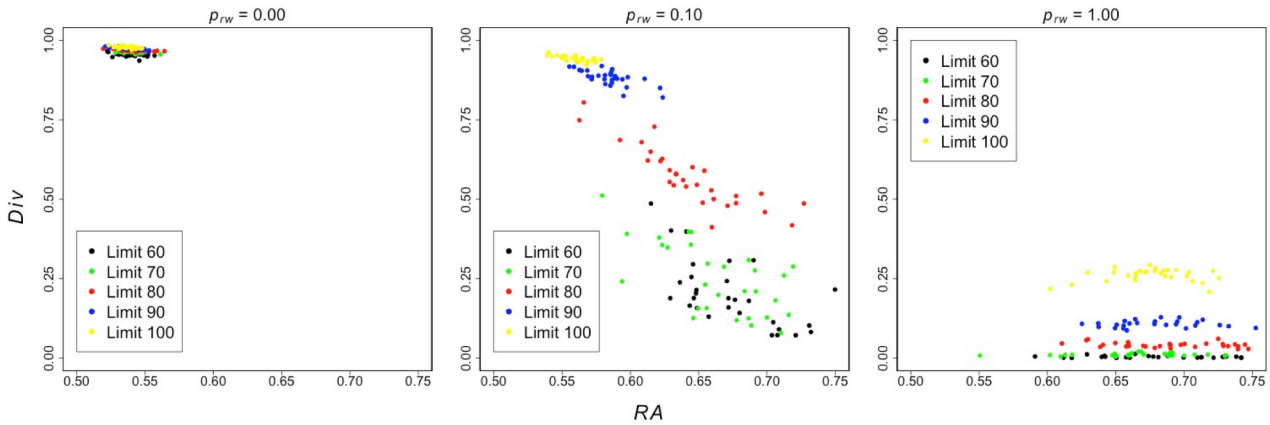


図 4. 各ネットワークにおける獲得された知識の多様性 ( $Div$ ) と相対的正確性 ( $RA$ ) の関係

ていると考えることができる。

Honda and Matsuka (2011)の分析手法に従い、多様性は以下の  $Div$  によって定義した。

$$Div = \frac{1}{100} \sum_{m=1}^{100} (-P_{cm} \log_2 P_{cm} - P_{im} \log_2 P_{im}) \quad (3)$$

ここにおいて  $P_{cm}$  は知識項目  $m$  において (正)・(不正) を獲得したエージェントの中で (正) の割合、 $P_{im}$  は (不正) の割合を示している (i.e.,  $P_{cm} + P_{im} = 1$ )。即ち、 $Div$  は各知識項目ごとに獲得された知識状態の割合からエントロピーを計算し、その平均値を算出したものになっている。

図 4 に獲得された知識の  $RA$  と  $Div$  の関係をプロットしたものを記す。図からも分かるように、 $RA$  と  $Div$  の関係はネットワークに依存して大きく異なる。まず  $p_{rw} = 0$  の時、記憶容量関係なく、正確性が低く多様性が高い知識が獲得されている。 $Div$  と  $RA$  は基本的にトレードオフ関係にあり、 $RA$  が 0.5 に値が近づくと  $Div$  の値は 1 に近づき、逆に  $RA$  が 1 に値が近づくと  $Div$  の値は 0 に近づき、よって  $p_{rw} = 0$  の結果は獲得された知識の相対的正確性の低さから生じている結果であると言える。 $p_{rw} = 0.1$  の場合、 $RA$  と  $Div$  の間には強い相関関係があり、獲得された知識の相対的正確性が増すと多様性が減少するという結果が得られた。但し、注目すべき点は記憶容量が 80 の条件の結果である。この条件では相対的に正確な知識が得られてる一方で、多様性も同時に高くなっている。記憶容量が 90, 100 の条件では正確性は高いものの、多様性が低くなっている。この結果は

ネットワーク上に知識の多様性を生み出す上でも忘却は重要な役割を果たしていることを示している。 $p_{rw} = 1$  の場合、全般的な傾向として獲得された知識の正確性は高いものの、多様性が低いという結果になっている。但し、記憶容量が 100 の条件においてやや高い多様性が得られている。上で述べたように多様性と正確性は基本的にトレードオフ関係にある。 $p_{rw} = 1$  では得られた知識の相対的正確性は記憶容量の違いに関係なくほぼ一定であったことを踏まえると (cf. 図 2)、 $RA$  と  $Div$  の単純なトレードオフ関係を越えて、忘却が知識の多様性を生み出すメカニズムに寄与している可能性を示唆している。

以上をまとめると、忘却はネットワークにおいて獲得される知識の多様性を生み出す上でも重要な役割を果たしていることが示された。特に忘却の影響は  $p_{rw} = 0.1$  において顕著に観察された。

## 6. 総合討論

本研究ではコミュニケーションを通じて知識を獲得していくという社会的インタラクション場面において、忘却が果たしている役割についてコンピュータシミュレーションに基づき理論的な議論を行った。結果として、表面上は負の機能と考えられる忘却が、より正確な知識を獲得して行く上で適応的の性質を持っていることが明らかになった。また、ネットワーク上において多様な知識を生じさせる上でも忘却が非常に重要な役割を果たしていることも明らかになった。

**忘却が適応的に機能するメカニズム：**本研究が議論したコミュニケーションを通じた知識獲得において、忘却は以下のようなメカニズムを通じて適応的に機能したことが考えられる。本研究で提案したモデルでは、新しい知識を獲得する際、コミュニケーションパートナーの知識に依存して新しい知識が確率的に決定される (cf. 表 1)。本シミュレーションでは、知識の初期値として、“少なく、やや正しい、”という仮定を置いた。即ち、各知識項目に関して、正しい知識を持つエージェントがネットワーク上では多いので、正しい知識を持ったエージェントに出会う確率が高くなる。よって自分の知識状態が（無）の場合、コミュニケーションを行うことで知識状態が（正）になる確率のほうが（不正）になる確率よりも高くなる。結果として忘却が生じやすくなる記憶容量が小さい条件のほうがより正しい知識を獲得できたということが考えられる。

**認知的・社会的インタラクション：**上の議論を踏まえると、ネットワーク上に正確な知識を持つエージェントがより多く存在しているということが忘却の適応的機能を生じさせるための条件になると考えられる。しかしながらこの条件だけでは不十分である可能性が高い。

注目すべき点は、 $p_{rw} = 0.1$  の条件において忘却の影響が顕著に観察された点である。 $p_{rw} = 0.1$  におけるネットワーク構造は、エージェント間の距離（リンクがあるエージェントを辿って、他のエージェントに辿り着くまでの最短ステップ）が短く、かつクラスター性（あるエージェントと繋がっているエージェント同士がまた繋がっている確率）が高い、“small world network”と呼ばれている特徴的なネットワーク構造を持つ (Watts and Strogatz, 1998)。

以上を踏まえると、エージェントが持つ認知的特性の一つである初期の知識状態とエージェント間のネットワーク構造の関係性の中で忘却の適応的機能が生み出されていることが考えられる。つまり、認知的・社会的なインタラクションのプロセスによって忘却の適応的性質が生み出されたと

考えることができる。

また、small world network の特徴は現実的な社会でもしばしば観察されている (e.g., Newman, 2001)。現実社会でも観察されているような特徴を持つネットワーク上で忘却の適応的性質が生み出された点は大変興味深い。

**まとめ：**以上、本研究では忘却が持つ適応的性質について、社会的インタラクションという視点から分析を行った。上で述べたように、個々の認知レベルでの性質、また個々間の繋がりであるネットワークの性質、2つの関係性の中で忘却の適応的性質が生じてくることが明らかになった。但し現状では因果的な要因を含めたメカニズムについては明確ではない。よって本研究で扱っていないエージェントの性質を決めるパラメータやネットワークの性質を決めるパラメータを操作してより詳細な議論を進めていく必要がある。

本研究では社会的インタラクション場面における忘却の適応的機能について示したが、Stevens et al. (2011)は社会的インタラクション場面における協力行動の創出が忘却の影響によって制限される可能性を示している。よって社会的インタラクション場面において忘却が果たす役割については幅広い視点からさらなる議論を続けて行く必要がある。

また本研究での議論はコンピュータシミュレーションに基づく理論的な議論に留まっているので、知識の伝搬の仮想実験等 (e.g., Kirby, Cornish, & Smith, 2008) を実施し、実験的な検証も必要になってくると考えられる。

## 謝辞

本研究は科学技術融合振興財団の助成を受けた。

## 参考文献

- [1] Altmann, E. M., & Gray, W. D. (2002). Forgetting to remember: The functional relationship of decay and interference. *Psychological Science*, *13*, 27–33.
- [2] Anderson, J. R., & Milson, R. (1989). Human

- memory: An adaptive perspective. *Psychological Review*, **96**, 703–719.
- [3] Cowan, R., & Jonard, N. (2004). Network structure and the diffusion of knowledge. *Journal of Economic Dynamics and Control*, **28**, 1557–1575.
- [4] Honda, H., & Matsuka, T. (2011). How is knowledge transmitted in a small world network through communicative interaction? In L. Carlson, C. Holscher, & T. Shipley (Eds.), *Proceedings of the 33rd Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 1841–1846). Austin, TX: Cognitive Science Society.
- [5] Kirby, S., Cornish, H., & Smith, K. (2008). Cumulative cultural evolution in the laboratory: An experimental approach to the origins of structure in human language. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **105**, 10681–10686.
- [6] Koriat, A., & Goldsmith, M. (2000). Toward a psychology of memory accuracy. *Annual Review of Psychology*, **51**, 481–537.
- [7] Mason, W. A., Conrey, F. R., & Smith, E. R. (2007). Situating social influence processes: Dynamic, multidirectional flows of influence within social networks. *Personality and Social Psychology Bulletin*, **11**, 279–300.
- [8] Luria, A. R. (1968). *The mind of a mnemonist*. New York: Basic Books.
- [9] Newman, M. E. J. (2001). The structure of scientific collaboration networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **98**, 404–409.
- [10] Pentland, A. (2007). On the collective nature of human intelligence. *Adaptive Behavior*, **15**, 189–198.
- [11] Schooler, L. J., & Hertwig, R. (2005). How forgetting aids heuristic inference. *Psychological Review*, **112**, 610–628.
- [12] Stevens, J. R., Volstorff, J., Schooler, L. J., & Rieskamp, J. (2011). Forgetting constrains the emergence of cooperative decision strategies. *Frontiers in Psychology*, **1**, 235.
- [13] Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of “small-world” networks. *Nature*, **393**, 440–442.