

作動記憶のなかの長期記憶と短期記憶

——意味情報の一時保持——

西山 亮二・浮田 潤

短期記憶と長期記憶を二項対立的な記憶概念と捉える作動記憶⁽¹⁾のモデルは30年以上前に破綻をきたした (Baddeley, 2000)。そして、近年、意味情報 (長期記憶) の短期保持を示す証拠が見つかったことにより、この2つの記憶概念の間により密接な結びつきが必要とされるようになった。本稿では、作動記憶のモデルを短期記憶と長期記憶の概念の扱いに基づき二種類に分け、意味情報の短期保持についてどちらのモデルが適しているかを検討する。

短期記憶と長期記憶という概念の二分は、古くは、James (1890) が Wundt の研究 “Umfang” に基づき、記憶を primary memory (一時的な記憶) と secondary memory (半永久的な記憶) に概念的に分類したことに遡る。その後、この概念は短期記憶障害と長期記憶障害に見られる二重乖離に支持され⁽²⁾、認知科学の発展のなかで、コンピュータの記憶装置を模した短期記憶と長期記憶に構造的分離を仮定するモデルとニューロンを模した構造的分離を仮定しない作動記憶のモデルに取り込まれていった。

コンピュータ比喩型作動記憶モデル

1950年代後半から1960年代に、短期記憶と長期記憶の概念とコンピュータの記憶装置の概念が結びつき生まれた記憶モデルを、本稿ではコンピュータ比喩型の記憶モデルと呼ぶ。コンピュータの記憶装置には、一次記憶装置 (主記憶装置) と二次記憶装置 (補助記憶装置) がある。一次記憶装置は、容量は

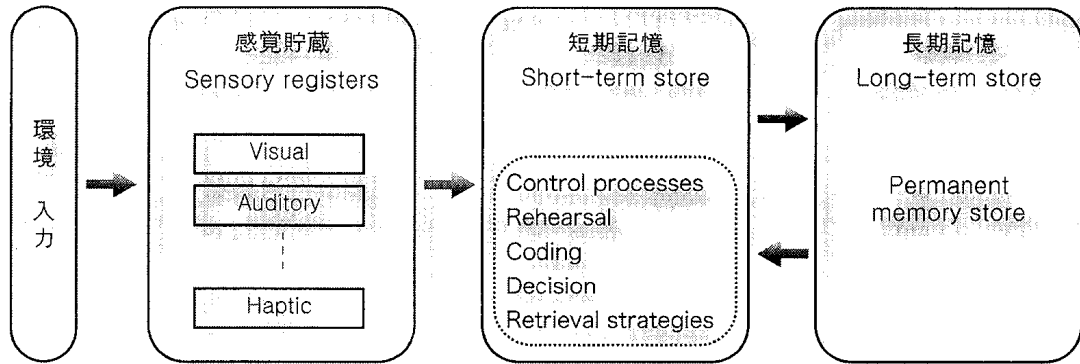


Figure 1 外界からの刺激は、その痕跡が減衰するまでの2, 3秒、感覚貯蔵で維持される。注意を向けられた感覚貯蔵内の刺激痕跡は、Control-processes（制御機構）によりコピーされ短期記憶内にコード化される。コード化された情報は、Controlprocessesによって、内言を用いたりリハーサルにより短期記憶内に保持される。短期記憶の容量には制限があり、数個の情報しか保持できない。新たな情報が短期記憶に入ってくると保持されていた情報は失われ、また妨害課題などによりリハーサルが困難になると情報を保持する力は弱まる。Atkinson & Shiffrin（1968, 1971）はさらに、内言的なりハーサルにより短期記憶にある情報が、短期記憶に比べ遥かに長い保持時間と大きな保持容量を持つ長期記憶に転送されると仮定した。

小さく一時的に情報を保持しておくための記憶装置であり、二次記憶装置は情報を永続的に保存しておくための記憶装置である。これらの機能的特徴と作動記憶の概念と結びつき、対立的な2つのシステムを持つ記憶モデルを生んだ。当時のコンピュータ比喩型の記憶モデルの代表は、Atkinson & Shiffrin（1968, 1971）が提案した二重貯蔵モデルである。二重貯蔵モデルは Figure 1 に示すように、感覚貯蔵、短期記憶、長期記憶の3つシステムで構成される。1960年代のコンピュータ比喩型の作動記憶モデルの多くは、このモデルと同様に、短期記憶と長期記憶を異なる情報保持時間と保持内容を持つ構造的に分離したシステムと想定していた（Broadbent, 1958； Miller, 1956； Peterson & Peterson, 1959）。

短期記憶と長期記憶の名が示す通り、情報保持時間は2つのシステムを区分する最も重要な要因であり、それは系列位置曲線と忘却曲線の解釈に基づいていた。しかしながら、その解釈は決定的な反証データにより1970年代初頭には否定されてしまう（Bjork, 1974）⁽³⁾。次いで保持内容の区分に関しても、

様々な研究分野で反証的なデータが報告されている⁽⁴⁾。そのため 1970 年代には短期記憶研究は低迷し、古典的な記憶の概念は徐々に支持を失なった。そして、1980 年代に誕生した Baddeley のモデルは、複数の短期記憶システムと制御機構で構成され、長期記憶システムは切り離された (Baddeley & Hitch, 1974)。以後、この Baddeley の作動記憶のモデルは、音韻情報保持についての説明力と構造のシンプルさによる汎用性の高さから、認知科学や他の領域で最も使用されるモデルとなった。同時にこのモデルの隆盛により、短期記憶的な要素が強調された、長期記憶を構造的に分離したシステムと捉える作動記憶の概念が広まったと考えられる。

しかし、2000 年に、知識など蓄積された情報が短期情報保持に与える影響を説明する必要に駆られ、Baddeley (2000) は、このモデルに再び長期記憶システムを加えた。さらに、長期記憶にある情報を一時的に保持する下位短期記憶システム (Episodic buffer) を設け、各短期記憶システムと長期記憶の連携も仮定した。

ニューロン比喩型作動記憶モデル

ニューロンのネットワークと活性化に模した概念を持つ記憶モデルを本稿ではニューロン比喩型の記憶モデルと呼ぶ。このタイプのモデルは Hebb (1949) の記憶概念と同様に、長期記憶を『ネットワーク構造』と捉え、短期記憶を長期記憶が一時的に『活性化している状態』であると捉える。よって、短期記憶と長期記憶に構造的分離は仮定しない。Embedded processing model (Cowan, 1988) やコネクショニストモデル (e.g., CAP 2: Schneider, 1999)、またプロダクションシステムに基づくモデル (e.g., 3 CAPS: Just & Carpenter, 1992) もニューロン比喩型の記憶モデルと分類できる。これらモデルは、短期記憶課題に於いて長期記憶からの影響が考えられる現象を説明することに優れている (Neath & Surprenant, 2003)。また、短期記憶と長期記憶に於ける障害の二重乖離に対しても、長期記憶課題に見られる障害を新し

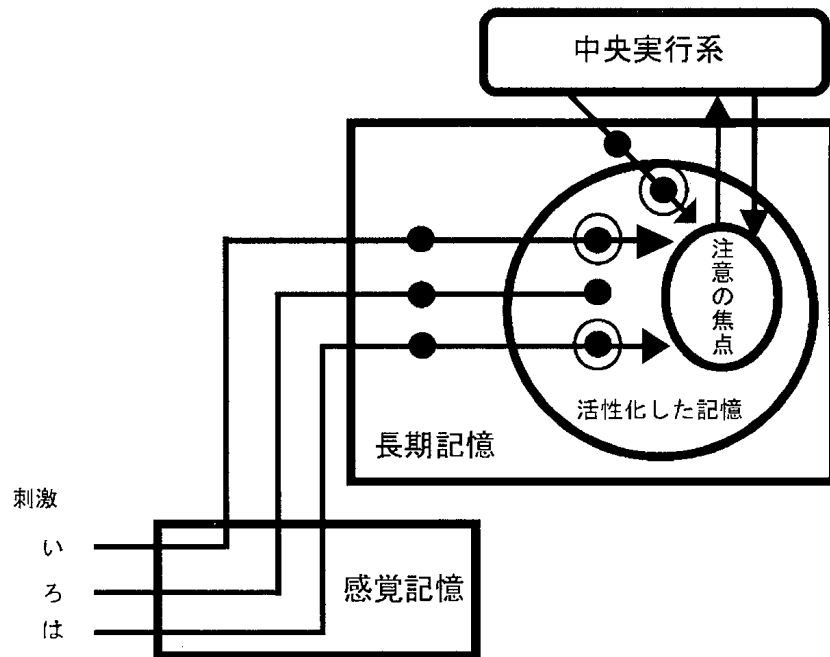


Figure 2 Cowan (1995) の Embedded processing model では、1. 活性化されていない長期記憶、2. 活性化された長期記憶、3. 活性化され、さらに注意と意識の焦点が当たっている、という3つ状態を想定している。これら3つはそれぞれ異なった制限を受けるとされ、注意の焦点は容量制限を受け、活性化は時間的制限を受け減衰すると仮定されている。感覚記憶に入力された情報（い、ろ、は）は数100 msで消失するが、長期記憶を活性化させる。“い”と“ろ”は既に経験したことのある刺激であるため、通常は注意が向けられない。しかし、“い”は中央実行系により自発的に注意を向けられた。注意を向けられなかった“ろ”もいくつかの特徴はコード化されるが、“い”に比べれば情報量は少なくなる。つまり注意が向けられていないと部分的にしか活性化しない。“は”は新規な刺激であるので不随意的に注意を惹きつける。そして、“は”は中央実行系により長期記憶の中から活性化された情報を表している。注意の焦点は、自発的な過程（中央実行系）と不随意的な過程により複合的にコントロールされる。また、より活性化された特徴はより安定した記憶表象を作り出す。一度活性化した情報は、注意やリハーサル、記憶の検索などにより活性化が保たれる。記憶を再生するということは注意を向けることである。再生の成功は情報の活性化の度合いにより決定され、減衰しているようであれば再生に失敗する。

い情報を固定化（Consolidation）する能力の障害と解釈すれば（Squire, 1992）、ニューロン比喩型の記憶モデルでもこの二重乖離を説明できる（Ruchkin, Grafman, Cameron, & Berndt, 2003）。多くのモデルがニューロン比喩型に分類されるが、これらのアーキテクチャはそれぞれ異なっているため、個々の利点や欠点については此处では論じない。

二つのシステムに於ける、意味情報の一時的保持メカニズム

コンピュータアナロジー型の作動記憶モデルは、短期記憶と長期記憶を構造的に分離したシステムと仮定する。そのため意味情報の短期保持のために、例えば Baddeley (2000) のモデルでは、長期記憶にある情報を一時保管する特別な **buffer** タイプの貯蔵システム (**episodic buffer**) を設けている。

buffer システムは容量に制限を持つ。この容量制限は、音韻情報保持では語長効果など 1 単語あたりの情報量増加による記憶量の低減を巧く説明する。だが、意味情報保持では不都合が生じる。音韻情報保持と同様に **buffer** タイプの貯蔵システムでは、記銘刺激ごとの情報量が増加すればその分だけ **buffer** 領域が埋められ、多くの刺激を覚える場合では情報量の多い刺激は不利に働くと予想される。しかし、実際は予想とは逆に意味情報では情報量が増加すると記憶成績は促進される。また、音韻情報では互いの類似性が高い場合では課題成績を低下させるが (音韻類似効果)、意味情報では記憶成績は促進される (意味類似効果)。意味類似効果を説明するためには、単語間の繋がりに関する情報も長期記憶から **buffer** 内にコードされる必要があるが、**buffer** タイプのシステムであればこの情報も容量を圧迫し記憶成績は減少するはずである。意味類似効果については、意味情報のオーバーラップによる **buffer** 空間の節約による記憶成績の向上と解釈することも出来るが、音韻情報とは異なる性質を持つ **buffer** を仮定する必要がある、また上記した様に意味情報に於いては容量の節約が記憶成績を向上させるとは考え難い。

長期記憶の情報をどう **buffer** 内にコードするかも解決すべき問題である。長期記憶の情報を **buffer** 内にコードするためには、コンピュータのメモリの様に全ての情報を表現出来る万能型ユニット、または、それぞれの長期記憶の情報と対応した長期記憶と同数のユニットが必要となる。前者については現実性が低い上に、情報間の連合や活性化拡散なども考慮すると長期記憶とのインタラクティブな接続も必要となり、さらに現実性に欠ける。後者については、

情報処理と保持のユニットが異なるという点で違ってはいるが、ニューロンアナロジー型と類似したシステムを仮定することになる。

一方、ニューロンアナロジー型の記憶モデルでは、特別なシステムを仮定せずとも意味情報の短期保持を説明できる。意味情報の増加による記憶成績の促進も、記銘刺激が持つ意味情報は自動的に活性化し記憶資源を必要としないと仮定すれば、個々の記銘刺激の情報量が増えても記憶資源は影響を受けず、豊富な意味情報により想起を促進すると考えられる。意味類似効果も活性化拡散モデル (Collins & Loftus, 1975) の様に、関連した情報は互いを活性化させると考えると説明できる。また、ニューロンアナロジー型の記憶モデルでは、意味的短期記憶は長期記憶が一時的に活性化した状態と捉えるため情報を転写する必要はなく、コード化の問題も生じない。

ま と め

この様に、長期記憶と短期記憶に構造的分離を仮定したコンピュータアナロジー型のモデルでは、単純に **buffer** システムを追加するだけでは意味情報の短期保持を説明するには不十分だと考えられる。逆に、ニューロンアナロジー型のモデルでは、特別なシステムを仮定せずとも十分意味情報の短期保持を説明できる。

現状では、長期記憶と短期記憶に構造的分離を仮定する **Baddley (2000)** のモデルが最も使用され、強い影響力を持っている。しかし、意味情報の短期保持システムに関する実証研究が進めば、意味情報保持をモデルに組み込む必要性が高まり、この構図は次第に変化していくと考えられる。そして、長期記憶の概念を取り込んだ作動記憶は、全ての記憶研究を一つのモデル上で論議するためのプラットフォームと成り得るかもしれない。

注

- (1) 作動記憶のモデル = 制御機構 + 短期記憶 + 長期記憶 or 制御機構 + (短期記憶 + 長

期記憶)

本稿では、短期記憶、長期記憶及び作動記憶の3つの記憶概念が登場するが、それらは情報保持を司る特定の記憶機能ないしそれを実現するシステムを指す概念であり、保持されている情報を指す概念ではない。また、作動記憶とは“認知課題の遂行中に一時的に必要となる記憶の機能やメカニズム、またはそれらを支えているシステム”であり(三宅・斉藤, 2001)、一時的な情報の保持(短期記憶)と知識による記憶のサポートや活性化された長期記憶内の情報の一時保持(長期記憶)、及びそれらを制御するシステム(中央実行系)によって成り立っている。つまり、作動記憶のモデルは短期記憶と長期記憶の概念を内包していると考ええる。

(2) 記憶障害の二重乖離

Milner (1966) は、短期記憶課題の成績は問題ないが、新しいものを覚えることが出来ない重度の記憶障害が見られる事例を報告している。一方、Shallice & Warrington (1970) は、言語的短期記憶課題の成績には著しい低下が見られるが、長期記憶課題の成績には問題が見られない事例を報告している。これらは、一方が記憶の長期保持を司るシステムが障害を受けた事例であり、もう一方が短期保持を司るシステムが損傷を別々に受けた事例である。この記憶障害の二重乖離は、記憶の短期保持と長期保持が分離可能な別のシステムで成り立っていることを示す証拠だと考えられている。

(3) 系列位置曲線

旧来の記憶研究では系列位置曲線の前半部は、繰り返しリハーサルされ長期記憶に転送された情報を反映していると考えられていた。また、後半部は記銘時から想起まで時間が経過していないことから、短期記憶にある情報を反映していると考えられていた。この考え方は、系列位置後部の記憶成績の向上(新近性効果; Murdock, 1962)が、再生の遅延により消失すること(Glanzer & Cunitz, 1966)により支持されていた。しかしながら、Bjork & Whitten (1974)の行った実験に於いて、遅延課題を全ての記銘単語と記銘単語の間に挟むことにより、新近性効果が再び出現することが示されたことによって、新近性効果が短期記憶を反映しているという考えは否定された。また、忘却曲線に関しては、前半の急激な減少が短期記憶を反映し、その後の緩やかな減少を示す部分が長期記憶を反映しているとされていた。このパターンは多くの研究で確認されるが、しかし、急激な減少から緩やかな減少に変わる時間は研究によって異なり、それは数秒から数日、数年まで異なる(Anderson, 1995)。よって、忘却曲線の形状が短期記憶と長期記憶を反映しているとは考え難い。

(4) 短期記憶と長期記憶で保持される情報

意味記憶は、過去の記憶研究では長期記憶に分類され、短期的に保持されている

言語情報は音韻情報であり、意味情報は短期的には保持されていないとされてきた。これは、系列位置曲線の前半部に音韻エラーが多く後半部に意味エラーが多いこと、遅延再認では音韻エラーは減少するが意味エラーは減少しないという実験結果を前提としている。しかし、**Semantic confusion** が短期記憶課題でも確認されていることなど (Shulman, 1970), これらの前提を否定する証拠が既に存在している。

引用文献

- Anderson, J. R. (1995). *Learning and Memory*. New York: Wiley.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In Spence, K. W. & Spence, J. T. (Eds.), *The Psychology of Learning and Motivation*, New York: Academic Press.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The control of short term memory. *Scientific American*, 225, 82-90.
- Baddeley, A. D. (2000). Short-term and working memory. In E Tulving & F. I. M. Craik (Eds) *The Oxford Handbook of Memory*, New York: Oxford University Press, pp 77-92.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 11, 417-423.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 8, pp. 47-89). New York: Academic Press.
- Bjork, R. A., & Whitten, W. B. (1974). Recency sensitive retrieval processes in long-term free recall. *Cognitive Psychology*, 6, 173-189.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and Communication*. London: Pergamon.
- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading activation theory of semantic memory. *Psychological Review*, 82, 407-428.
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information processing system. *Psychological Bulletin*, 104, 163-191.
- Glanzer, M., & Cunitz, A. R. (1966). Two storage mechanisms in free recall. *Journal of Verbal Learning and verbal Behaviour*, 5, 351-360.
- Hebb, D. O. (1949). *The Organization of Behavior*. Wiley: New York.
- James, W. (1890). *The principles of Psychology* (2 vols.), New York: Holt.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review*, 99, 122-149.

- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two : Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81–97.
- Milner, B. (1966). *Amnesia following operations on the temporal lobes*. In *Amnesia* (ed. O. L. Zangwill & C. W. M. Wa), pp. 109–133. London : Butterworth.
- 三宅晶・斉藤智 2001 作動記憶研究の現状と展開 心理学研究 72, 336–350.
- Murdock, B. B. (1962). The serial position effect of free recall. *Journal of Experimental Psychology*, 64, 482–488.
- Neath, I., & Surprenant, A. M. (2003). *Human memory* (2nd edition). Belmont, CA : Wadsworth.
- Peterson, L. R., & Peterson, M. J. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, 58, 193–198.
- Ruchkin, D. S., Grafman, J., Cameron, K., & Berndt, R. S. (2003). Working memory retention systems : A state of activated long-term memory. *Behavioral and Brain Sciences*, 16, 1. 39.
- Schneider, W. (1999). Working memory in a multi-level hybrid connectionist control architecture (CAP 2). in A. Miyake & P. Shah (Eds.) *Models of working memory : Mechanisms of active maintenance and executive control*, pp 340–374. Cambridge, UK : Cambridge University Press.
- Shallice, T., & Warrington, E. K. (1970) : Independent functioning of verbal memory stores : A neuropsychological study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 22, 261–273.
- Shulman, H. G. (1970). Encoding and retention of semantic and phonemic information in short-term memory. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 9, 499–508.
- Squire, L. R. (1992). Memory and the hippocampus : A synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychological Review*, 99, 195–231.

——西山亮二 大学院文学研究科博士課程後期課程——

——浮田 潤 文学部教授——