視空間性作動記憶におけるイメージ統合過程の処理と保持の関係¹⁾

成 本 忠 正・牧 野 義 隆 (中京大学心理学部)

The relationship between processing and storage of visuospatial working memory during the image integrating process

Tadamasa NARIMOTO and Yoshitaka MAKINO (*Faculty of Psychology, Chukyo University*)

This study examines whether visuospatial processing and working memory retention can function independently, without sharing a common resource, in a task requiring successive interaction between integrative processing and retention for integrated images. In Experiment 1, participants were given visuospatial and verbal processing tasks as interference tasks while working either to integrate serially presented stimuli (processing and storage interference condition) or to retain integrated images (storage-only interference condition). While the visuospatial processing task produced equal levels of interference in both conditions, the verbal processing task had no interfering effect, which suggests that integrative processing and temporary memory share a common resource. However, it is possible that the task was too difficult to produce a significant difference in performance under the two conditions. In order to examine this, the level of difficulty in the visuospatial processing task was reduced in Experiment 2. Consequently, performance in the storage-only interference condition improved, although it was lower than performance in the no-interference task control condition. The visuospatial processing task had an interference effect on temporary memory, which indicates that a single resource is involved in both integrative processing and memory storage.

Key words: integrative processing, retention, working memory, common resource

本研究の目的は、認知課題が統合処理とその処理結果保持の交互連続的作業を必要とする事態においても、作動記憶の処理と保持が機能的に独立(認知資源の非共有)しているのかを検討することである。被験者は、一次課題のイメージ統合処理と処理結果の保持の遂行中(処理・保持妨害条件)、もしくは処理結果の保持のみ遂行中(保持妨害条件)のいずれかで二次処理課題を遂行した。実験1では二次処理課題の視空間性および言語性課題を遂行した。その結果は、妨害条件にかかわらず視空間性課題のみが一次課題に妨害効果を示した。二次課題難度が高すぎたことにより、妨害条件が効果をもたなかった可能性を検討するため、実験2では視空間性二次課題の難度を実験変数とした。その結果、低難度条件においても保持妨害条件の成績が二次課題を伴わない統制条件の成績と同じになることはなかった。つまり、統合処理と保持が交互連続的活動を必要とする事態では、それらが認知資源を共有しており、完全な独立機能ではないことを示したのである。

キーワード: 統合処理, 保持, 作動記憶, 共有資源

複雑な認知課題の達成には、作動記憶システムの情報処理機能と情報保持機能の同時あるいは交互連続的な作業が必要となる。この処理機能と保持機能を有する作動記憶システムは、言語情報を一時的に保持する音韻ループ(phonological loop: 以降PLと略)、視空間情報を一時的に保持する視空間的記銘メモ(visuospatial scratchpad: 以降VSSPと略)、および保持情報の内的操作、無関連な情報の抑制、あるいは情報の更新などの情報処理、ならびに保持機能以外の認知機能を制御する

中央実行系(central executive: 以降CEと略)という独立コンポーネントから構成されていると考えられている(Baddeley, 1986, 1996; Baddeley & Logie, 1999; Cocchini, Logie, Della Sala, MacPherson, & Baddeley, 2002; Duff & Logie, 1999, 2000, 2001)。

この作動記憶モデルは、主に二重課題、あるいは選択的干渉課題で得られた実験結果によって支持されている。たとえば、一次課題として刺激の視覚特徴保持課題を、二次課題として保持を伴わない視空間性の知覚運動課題を同時に遂行しても、一次課題は二次課題によってほとんど妨害を受けないという結果が示されている(e.g., Cocchini, et al., 2002)。また、Duff & Logie (2001)は処理と保持の対象が言語性情報であっても上記と同様の

1) 本実験の実施にあたり、中京大学心理学研究科の院生の皆さんから多大な協力を頂きました。また、査読者の先生方から貴重な助言を頂きました。記して謝意を表します。

結果が得られると報告している。さらに、言語性および視空間性の保持課題を同時遂行しても、互いに妨害効果を示さないという結果も報告されている (Cocchini, et al., 2002; Duff & Logie, 1999)。このような結果は、作動記憶システムの処理機能と保持機能がそれぞれ独立コンポーネントとして機能し、各コンポーネントはそれぞれ独自の資源プールを有することを示している。

上記の先行諸研究では、処理される情報と保持される情報が相互に独立で、直接的な関係を持っていない。つまり、処理情報と保持情報が直接的な関係を持たない状態でコンポーネントの独立性、すなわち資源の非共有性が検討されてきた。たとえば、Duff & Logie (2001) の実験では、被験者に一次課題として単語リストの保持を、二次課題として“保持される情報とは全く関係を持たない”計算処理の遂行を求め、処理コンポーネントと保持コンポーネントの独立性を検討している。では、処理された情報と保持される情報が互いに関係を持ち、処理された情報を保持して、さらに処理するといった、交互連続的作業を必要とする認知課題においても、先行諸研究と同様の結果が示されるのであろうか。

本研究の目的は、この問題を検討することである。上述のような処理と保持が互いに密接な関係を持つ課題として暗算が挙げられる (Furst & Hitch, 2000; Heathcote, 1994; Logie, Gilhooly, & Wynn, 1994; Seitz & Schumann-Hengsteler, 2000, 2002)。たとえば、2桁の数字の和を求めるとき、一の位の和を求めて、保持し、次に十の位の和を求め、先に保持した一の位の繰り上がりと十の位の和を加算することにより最終的な和が求められる。暗算では、処理とその結果の保持、保持した結果の再処理といった交互連続作業が必要となる。このとき、計算の過程で繰り上げが生じた場合には、その繰り上げにはCE資源、計算途中の部分的な結果保持にはPL資源が消費されることが報告されている (Furst & Hitch, 2000)。

Furst & Hitch (2000) は、一次課題としての暗算課題、二次課題としてCEを妨害する言語性処理課題、PLを妨害する構音抑制課題、もしくは妨害課題を伴わず暗算課題のみを遂行する統制条件のいずれかを被験者に遂行させた。その結果、計算の繰り上げ回数を増加させ、処理難度を増大させても統制条件と構音抑制条件の正答率にはほとんど差が認められなかった。しかし、言語性処理条件においては、繰り上げ回数を増やして処理難度を増大させると、統制条件よりも有意に正答率が低下した。構音抑制課題の遂行が繰り上げ処理を妨害せず、言語性処理課題の遂行が繰り上げ処理を妨害したことから、処理と保持の交互連続作業を伴う認知課題においても作動記憶システムのCEの処理機能とPLの保持機能が、それぞれ独立した機能であるという仮説の正当性が

支持されたことになる。

一方、Seitz & Schumann-Hengsteler (2002) は、繰り上げ処理の有無にかかわらず、暗算は二次課題の処理課題（文字ランダム生成課題）と構音抑制課題からの妨害を受け、回答までの反応時間が遅れる結果を報告している。しかし、繰り上げ処理のある場合には、文字ランダム生成課題が構音抑制課題よりもさらに強い妨害効果を示すと報告している。つまり、繰り上げのある暗算課題において、構音抑制課題は繰り上げされた部分的な結果保持に妨害効果を示し、反応時間が遅れ、ランダム生成課題は繰り上げ処理だけではなく、保持にも妨害効果を示し、反応時間がさらに遅れたのである。この結果は、処理と保持が相互に独立な情報を取り扱う場合と、保持されている情報を処理し、その結果をまた保持するような交互連続的な関係の場合では、作動記憶の処理機能と保持機能の関係が異なる可能性があることを示唆している。このように、暗算に基づいた研究の結果はいくぶん異なった結果を示している。

上記の先行研究のような暗算に基づいた作動記憶の処理と保持の機能的役割の独立性を検討する方法には、確認すべき問題点が残されている。その問題とは、二次課題としての処理課題と構音抑制の難易度が同等ではないという点である。構音抑制課題は、単に同じ単語を繰り返し発声するものである。しかし、処理課題は一般にそれよりもかなり複雑な課題である。したがって、暗算の難易度が高くなったとき、単純な構音抑制課題よりも難易度の高い処理課題のほうが暗算に対する妨害効果が強いと考えられる。もしそうなら、高難度二次課題の遂行は暗算の遂行を妨害することになり、結果として繰り上げ処理とその結果の保持のいずれにも妨害効果を示す可能性がある。

また、このような言語性の処理と保持の交互連続的認知課題だけではなく、視覚イメージの処理とその処理により生成されたイメージの保持が連続的に機能しなければならない認知課題もある。このような課題においてCE、VSSP、ならびにPLがどのような役割を果たしているのかを検討する必要がある。Pearson, Logie, & Gilhooly (1999) は、処理とその結果の保持の連続作業を一次課題とし、被験者に複数の二次課題を同時に課してこの問題を検討した。一次課題には、Finke & Slayton (1988) によって考案されたイメージ統合課題を彼らは利用した。この課題では、複数の構成刺激（幾何学図形、アルファベット文字、および数字）が聴覚的に提示され、それらを統合処理して、その結果として生成された有意義な図と各構成刺激の描画再生が求められた。この課題の遂行と同時に、実験1では空間タッピング課題（VSSP妨害課題）、実験2ではノイズ刺激知覚課題（VSSP妨害課題; Quinn & McConnell, 1996a,

1996b, 1999), および実験3では構音抑制課題(PL妨害課題)を遂行した。実験1では、空間タッピング課題の遂行により各構成刺激の再生成績は影響を受けなかったが、統合課題の成績が低下した。彼らはこの結果を空間タッピング課題の遂行が統合処理を妨害した結果だと主張した。しかし、実験2のノイズ刺激知覚は、各構成刺激の保持、および統合成績に妨害効果を持たなかった。一方、実験3では、構音抑制課題の遂行が各構成刺激の保持成績、および統合成績を低下させた。

彼らのイメージ統合課題では、各構成刺激が聴覚提示されていた。このため、各構成刺激の音韻的保持、および統合結果のイメージ保持が必要であったと考えられる。彼らは、構音抑制課題の遂行により、各構成刺激の保持、および統合処理が妨害されたと主張した。一方、VSSP妨害課題であるノイズ刺激知覚課題が妨害効果を示さなかったのは、各構成刺激、および統合結果を音韻的にリハーサルしていたことによるとした。また、ノイズ刺激知覚課題が統合成績に妨害効果を示さなかったことから、イメージの保持にVSSP資源が消費されず、CE資源が消費されていた可能性を指摘した。すなわち、処理情報と保持情報が関係を持ち、処理と保持が交互連続的な認知作業では、統合処理によって生成されるイメージ保持にもCE資源が消費されると考えたのである。

しかし、彼らの実験では、音韻情報の処理および保持と、イメージ情報の処理および保持が明確に分離できないという問題を持つ。むしろ、構音抑制課題が妨害効果を示したことは彼らのイメージ統合課題の遂行に音韻的処理、および保持が必要であることを示したことになる。したがって、交互連続的な作業事態におけるイメージの処理と保持の関係を検討するには、音韻的処理ならびに保持が含まれない課題を新たに考案する必要がある。

本研究では、上記の問題を解決するため、イメージ統合課題(以下、統合課題という)に言語性処理、ならびに保持を必要としない新たな統合課題を一次課題とした。Figure 1に例示するように、この課題は連続提示されるバー刺激を規則に従い統合処理し、その統合結果を保

持し、さらに次のバー刺激を統合するという連続作業を行い、最終的な統合結果の再生を被験者に求めるものである。本研究の目的は、この課題により、イメージ情報の統合処理と保持が交互連続的に遂行される事態において、保持がCE資源を消費する作業であるのか否かを検討することであった。もしCE資源が消費されているならば、統合課題において処理結果を保持している間に二次課題を課した場合、統合成績が低下すると考えられる。しかし、処理結果の保持にVSSP資源のみが消費されるとすれば、統合成績は低下しないと予想される。

実験 1

実験1では、二次課題を次のいずれかの条件において遂行した。先行バー刺激の統合結果を保持し、さらに、“それと新たに提示される後続バー刺激の統合処理中に”二次課題の遂行が求められる場合を処理・保持妨害条件とした。一方、統合結果の保持のときのみ二次課題の遂行を求める場合を保持妨害条件とした。本実験の二次課題には、イメージ操作を伴うイメージ判断課題、言語性処理を伴う具象性判断課題、構音抑制課題、および二次課題を伴わない統制条件を用いた。

統合処理と処理結果の保持の交互連続的な作業事態において、処理結果の保持にもCE資源が消費されるならば、CE資源を消費するイメージ判断課題の遂行は統合課題の遂行を妨害することになる。したがって、処理・保持妨害条件においては、統合処理、および処理結果の保持のいずれに対してもイメージ判断課題が妨害効果を持つ。一方、保持妨害条件においては、処理結果の保持に対する妨害効果のみが顕著となる。したがって、保持妨害条件における統合成績の低下は処理・保持妨害条件ほどには大きくはないが、統制条件の統合成績よりも低下すると予測される。一方、処理結果の保持にCE資源が消費されないのであれば、保持妨害条件におけるイメージ判断課題は保持に妨害効果を与えず、統制条件の統合成績と類似する結果が予測される。統合課題の遂行に音韻処理および保持が関与していないことを確認するために具象性判断課題と構音抑制課題を追加した。二次課題におけるすべての刺激を視覚的に提示し、モダリティを統一して実験を行った。

方 法

被験者 C大学の学部生と大学院生16名(男性10名、女性6名)が参加した。

実験装置 刺激提示装置として、岩通アイセル製AVタキストスコープ(IS-702)と視覚刺激提示専用モニターを用いた。二次課題の反応には、同装置付属の反応キーユニットを使用した。被験者とモニターの距離は約46cmであった。

イメージ統合課題(一次課題) 被験者は、背景色が

Figure 1. イメージ統合課題における統合処理と統合結果保持の流れ。

Figure 2. 一次課題および二次課題の提示タイミング.

黒のモニタ中央に垂直もしくは水平に継時提示されるバー刺激（視角にして約 $4.1^\circ \times 0.8^\circ$ で輪郭線は白）を提示順序に従い、一つの図形として統合するよう指示を受けた。各バー刺激の両端には異なる色が付けられており、被験者は後続バー刺激を先行バー刺激の同色位置に重ね合わせて、先行の統合結果と統合するよう求められた。各バー刺激の提示時間は1.5sであった。Figure 2で示されているように、バー刺激間のISI（interstimulus interval）は処理・保持妨害条件では0.5s、保持妨害条件では1.5sと設定されていた。予備実験において、ISIが0.5sと1.5sの平均統合本数はそれぞれ6.35本と6.45本であり、ISIの相違が平均統合本数に影響しないことを確認した。各試行の最終バー刺激提示直後に「再生して下さい」という合図がモニタ中央に提示され、被験者は最終的な統合イメージを、前もって配布されていた用紙に記入し、その試行を終了していなくとも、次の試行に移るよう指示されていた。

統合すべきバー刺激の本数を3本から8本とした。被験者は統合本数3で3試行を行い、そのうち2試行以上を正確に再生した場合に、統合本数4に移行した。各被験者の最大の統合本数は以下のように定義される。当該の統合本数で3試行とも正確に再生できなかった場合は、その一つ下の統合本数を最大統合本数とした。しかし、3試行中、1試行を正しく再生した場合は、一つ下の統合本数に0.5を加算し、最大統合本数とした。

二次課題 二次課題にはイメージ判断課題、具象性判断課題、構音抑制課題を用意した。また、統合課題の遂行のみを被験者に求める統制条件を用意した。したがって、二次課題は4条件で構成されていた。イメージ判断課題では、モニタ中央に大文字アルファベットの正常像、もしくは鏡映像が 90° 、 180° 、 270° 回転した状態で、1.5s提示された。刺激の種類はA, H, I, O, W, X, Y, Zを除くアルファベット文字を使用した。文字の右側に同時に提示される上下左右いずれかの方向を示す矢印の

向きへ、その文字を心的に反転させたとき（たとえば“ヨ↓”：反転させても鏡映像となる）、それが正常像であるか否かをキー反応するよう指示された。具象性判断では、漢字2字単語（4モーラ：たとえば、“運動”）がモニタ中央に1.5s提示された。被験者はこの単語が抽象名詞か否かをキー反応するよう指示された。各判断刺激は、画面の中央位置に提示されることから、バー刺激の中央部に提示されることになる。イメージ判断課題および具象性判断課題の刺激サイズは視角にして約 $0.7^\circ \times 0.7^\circ$ であった。実験開始前に、イメージ判断課題単独遂行時の反応時間を測定した。日常的な単語について具象性判断遂行時の反応時間を測定し、イメージ判断課題の平均反応時間と具象性判断課題の平均反応時間がほぼ等しくなるように単語を選択した。これは両課題の反応時間からみた難易度を等しくするための操作であった。その結果、イメージ判断の平均反応時間は798ms ($SD=149$ ms)、具象性判断は787ms ($SD=164$ ms)であり、有意な差は認められなかった。構音抑制課題では、一次課題の開始直後から再生合図が提示されるまで「ア」、「イ」、「ウ」、「エ」、「オ」というように、ア行の各文字を約1秒間隔で繰り返し発声するよう被験者に求めた。

二次課題の提示タイミング（妨害条件） Figure 2(A)に示すよう、処理・保持妨害条件では、二次課題（イメージ判断および具象性判断）の判断刺激は、先行する一次課題のバー刺激提示終了の0.5s前から後続バー刺激提示の最初の0.5sまでバー刺激の中央位置に提示されていた。したがって、被験者は先行バー刺激の統合結果を保持し、それと新たに提示される後続バー刺激の統合処理中に、二次課題の遂行が求められる。Figure 2(B)に示すように保持妨害条件では、二次課題の判断刺激がバー刺激の消失後に出現し、後続バー刺激の提示とともに消失した。このため、保持妨害条件では統合結果の保持期間中に二次課題が遂行された。統制条件および構音抑制条件は各妨害条件で遂行された。したがって、本実験は妨害条件（処理・保持妨害条件および保持妨害条件） $\times$ 二次課題条件（イメージ条件、具象性条件、構音抑制条件および統制条件）の二要因計画であった。

手続き 8名の被験者は処理・保持妨害条件、残りの8名は保持妨害条件に割り当てられた。すべての被験者は最初に統制条件、次に構音抑制条件を遂行した。イメージ条件と具象性条件の実施順序は被験者間でランダムとした。各条件の本試行開始前に被験者は、統合本数3の練習試行を遂行した。練習試行は、各条件とも3試行中2試行以上を正再生するまで繰り返し継続した。処理・保持妨害条件におけるイメージ条件において、統合本数3で統合不能であった被験者が3名いた。結果の集計に当たって、これら被験者の最大統合本数を2

とした。

結果と考察

Figure 3 に処理・保持妨害条件と保持妨害条件における各二次課題条件の平均統合本数を示す。二要因分散分析（2 妨害条件×4 二次課題条件）の結果、妨害条件の主効果および交互作用は認められなかった。しかし、二次課題条件の主効果は有意 [$F(3, 42)=25.23, p<.01$] であった。二次課題条件の単純主効果については、LSD 法による多重比較の結果、イメージ条件の成績は統制条件、構音抑制条件、および具象性条件よりも有意に低下していた。

本実験の結果は、構音抑制課題と具象性判断課題が統合課題に対して妨害効果を持たないことを示した。しかし、イメージ判断課題は統合課題に対して妨害効果を示した。イメージ判断課題と具象性判断課題は難易度がほぼ同じであると考えられることから、これは二次課題の難易度の差によるものとは考えられない。もし、統合過程に言語過程が介在しているとするなら、統合課題の遂行は具象性判断課題の遂行によっても妨害を受けると予想される。これが本実験の結果と矛盾することは明らかなので、統合課題に言語過程は介在していないと考えられる。

一方、処理・保持妨害条件と保持妨害条件の平均統合本数には差が見られなかった。これは、統合処理と保持の両者の遂行時、もしくは保持のみ遂行時のいずれにおいてイメージ判断課題を遂行しても、統合課題の平均統合本数には差がないことを示している。イメージ条件における処理・保持妨害条件と保持妨害条件の平均統合本数が具象性条件、ならびに統制条件の平均統合本数より低下したことから、処理結果の保持が CE 資源を消費することが示された。しかし、処理・保持妨害条件と保持妨害条件の平均統合本数には差が認められなかった。

処理・保持妨害条件と保持妨害条件の平均統合本数が

Figure 3. 二次課題を伴うイメージ統合課題の成績。

同程度となった原因として、他の要因も考慮に入れる必要がある。この理由の一つは、イメージ判断課題の難易度に求められる。すなわち、統合課題に対してイメージ判断課題の難易度が高過ぎたことにより、両妨害条件における統合課題の平均統合本数が極端に低くなり、差が示されなかった可能性がある。実験 2 ではこの点を検討した。

実験 2

上記の議論に基づき、実験 2 ではイメージ判断課題の難易度を変化させた。イメージ判断課題の難易度を低減させた場合に、保持妨害条件の平均統合本数が統制条件よりも低下し、処理・保持妨害条件よりも高いことが示されるならば、処理結果の保持にも CE 資源が消費されることが考えられる。しかし、保持妨害条件と統制条件の平均統合本数が等しいならば、処理結果の保持は CE 課題であるイメージ判断課題によって妨害効果を受けず、処理結果の保持に CE 資源が消費されていないことになる。

方法

被験者 C 大学に所属する学部生と大学院生 13 名（男性 9 名、女性 4 名）が参加した。

実験装置 実験 1 と同様であった。

イメージ統合課題 実験 1 と同様であった。

二次課題 本実験では、二次課題をイメージ判断課題のみとした。実験 1 のイメージ判断課題（本実験では高難度イメージ判断課題と呼ぶ）に加え、低難度イメージ判断課題を用意した。低難度イメージ判断課題は提示される刺激をどのように回転すればよいのかをあらかじめ被験者に知らせておくことにより、課題の難易度を低くした。低難度イメージ判断課題では、提示されたアルファベットを常に 90° だけ時計回りに心的回転するように教示した。刺激の大きさと種類、ならびに提示方法は実験 1 と同様であった。実験に先立ち、二つの二次課題の難易度が相違することを確認するため、両イメージ判断課題を単独で遂行したときの反応時間を測定した。その結果は、高難度イメージ判断課題が 863 ms ($SD=131$ ms) であり、低難度イメージ判断課題が 641 ms ($SD=107$ ms) であった。両反応時間の差は有意であり [$t(12)=6.89, p<.01$]、反応時間からは、高難度イメージ判断課題は低難度イメージ判断課題より難度が高いことが確認された。統合課題と難易度の異なる二つのイメージ判断課題のいずれかを遂行する二次課題条件のほか、統合課題のみ遂行する統制条件を設定した。したがって、実験計画は妨害条件（処理・保持妨害条件および保持妨害条件）×二次課題条件（高難度イメージ条件、低難度イメージ条件、および統制条件）であり、これらはすべて被験者内要因であった。二次課題の判断刺激の

提示タイミングは実験1と同様であった。

手続き 各被験者は処理・保持妨害条件と保持妨害条件とともに遂行した。被験者によって妨害条件の実施順序をカウンターバランスした。しかし、両妨害条件とも統制条件は最初に実施された。練習試行および刺激観察距離などは実験1と同様であった。

結果と考察

Figure 4 に処理・保持妨害条件と保持妨害条件における二次課題条件ごとの平均統合本数を示した。二要因分散分析（妨害条件×二次課題条件）の結果、二次課題条件の主効果 [$F(2, 24) = 61.96, p < .01$] と交互作用 [$F(2, 24) = 5.78, p < .01$] は有意であった。交互作用に有意差が認められたことから、各要因の単純主効果を分析した。その結果、高難度イメージ条件の処理・保持妨害条件と保持妨害条件には有意差が見られなかった。この結果は実験1の結果と同様である。しかし、低難度イメージ条件の処理・保持妨害条件と保持妨害条件に有意差が見られた [$F(1, 12) = 10.36, p < .01$]。これは、実験1の結果とは明らかに異なっている。

また、処理・保持妨害条件における二次課題条件間に単純主効果が認められた [$F(2, 24) = 55.11, p < .01$]。LSD 法による多重比較の結果、統制条件と高難度イメージ条件、および統制条件と低難度イメージ条件に有意差が認められた（高難度イメージ条件＝低難度イメージ条件＜統制条件）。さらに、保持妨害条件における二次課題条件間にも単純主効果が認められた [$F(2, 24) = 20.21, p < .01$]。LSD 法による多重比較の結果、すべての条件間で有意であった（高難度イメージ条件＜低難度イメージ条件＜統制条件）。

処理・保持妨害条件および保持妨害条件における低難度イメージ判断課題の正答率はほぼ同等であり（処理・保持妨害条件では 90%，保持妨害条件では 93%），反応時間についても有意差は認められないことが確認された。したがって、処理・保持妨害条件と保持妨害条件の成績の差は、低難度イメージ判断の正確さや速度の違い

によるものとは認められなかった。

すでに述べたように（方法・二次課題の項参照），高・低難度イメージ条件の単独遂行時には相違が認められていた。しかし，処理・保持妨害条件に対して高・低難度イメージ条件の効果が等しかったことから，両判断課題の難易度が実際には同程度であり，統合処理が同等の妨害効果を受けていた可能性がある。しかし，保持妨害条件に対しては高難度イメージ判断課題と低難度イメージ判断課題の妨害効果に差が認められている。このことから，高・低イメージ判断の処理難度が同程度であったとは考えられない。

処理・保持妨害条件において，高・低難度イメージ条件の平均統合本数に相違が認められなかったことから，統合処理と CE 資源を共有するイメージ判断課題を同時に遂行した場合には，イメージ判断課題の難易度にかかわらず，同程度の妨害を受けると考えられる。しかし，保持妨害条件においては，高・低難度イメージ判断課題が異なる妨害効果を示していた。このことから，もし処理結果の保持が VSSP 資源を消費するなら，イメージ判断課題の難易度により，それぞれ異なる量の VSSP 資源が消費されていたことになる。しかし，情報保持を伴わないイメージ判断課題は CE 資源を消費する処理課題である。したがって，本実験の結果は，統合課題の統合処理と処理結果の保持にそれぞれ作動記憶の CE 資源と VSSP 資源が消費されるという仮定とは明らかに反している。

総合考察

本研究の目的は，保持された情報を処理し，さらにその結果を保持しなければならないような認知過程において，作動記憶の CE と VSSP が処理結果の保持に対してどのような役割を担っているのかをイメージ統合課題を用いて検討することであった。視空間性情報に基づく日常的な情報処理事態においては，このような処理と保持の統合的かつ交互連続的作業により，認知目標が達成される。

上記の問題を検討するにあたり，最初にすべき作業は，統合課題に言語性処理，および保持が介在していないことを明確に示すことであった。実験1において，この問題を検討した。その結果は，統合課題の遂行が言語性の二次課題（具象性判断課題，および構音抑制課題）による妨害を受けないことを示した。これは，視空間性作動記憶の処理と保持が，言語性の情報処理から妨害をほとんど受けないことを報告した従来の研究結果（Vecchi & Cornoldi, 1999; Vecchi, Monticellai, & Cornoldi, 1995; Shah & Miyake, 1996）と一致している。したがって，実験1の結果は先行諸研究と同様に，視空間性情報の認知過程と言語性情報の認知過程の独立性を示

Figure 4. 二次課題を伴うイメージ統合課題の成績。

唆し、作動記憶が複数のコンポーネントによって構成されることを示した (Palladino, Mammarella, & Vecchi, 2003; Shah & Miyake, 1996). しかし、統合課題の遂行は視空間性の二次課題 (イメージ判断課題) から妨害を受けていた。また、イメージ判断課題の遂行が統合課題における統合処理および処理結果の保持に妨害効果を示したことから、処理結果の保持に対しても CE 資源が消費されていた可能性を示した。しかし、この保持が実際に CE 資源を消費する認知作業であるために平均統合本数が減少したのではなく、イメージ判断課題の難度が高過ぎたことにより、平均統合本数が低下したという可能性も考えられた。

実験 2 において、この可能性を検討した結果、高難度イメージ判断課題を伴う処理・保持妨害条件の平均統合本数は、ほぼ実験 1 と同じであり、著しい低下を示した。低難度イメージ判断課題を伴う処理・保持妨害条件の平均統合本数も高難度判断課題と同程度の低下を示した。しかし、低難度判断課題における保持妨害条件の平均統合本数は、統制条件よりは低下したが、高難度判断課題の両妨害条件および低難度判断課題における処理・保持妨害条件よりも高かった。

実験 2 の結果は、高難度イメージ判断課題、および低難度イメージ判断課題を伴う保持妨害条件の平均統合本数も統制条件の平均統合本数より有意に低下することを示した。Pearson, Logie, & Green (1996) は、CE 課題である空間ランダムタッピング課題とイメージ操作課題が同時に遂行された場合には、イメージ統合課題の遂行が妨害を受け、VSSP 課題である空間タッピング課題とイメージ統合課題が同時に遂行された場合においては、イメージ統合課題の遂行が妨害を受けないという実験結果を報告している。このことから、実験 2 の結果は、統合課題における処理結果の保持が CE 資源を消費する認知作業と考えられる。

処理課題と保持課題が無関連で同時に遂行される場合には、保持課題の成績は単独遂行時の成績と有意な差が生じないという結果が報告されている (e.g., Cocchini, et al., 2002; Duff & Logie, 1999, 2001). 本研究の結果は、処理情報と保持情報が無関連であり、処理と保持が独立的に遂行される場合の結果とは、明らかに異なっている。このことから考えると、入力される視空間情報を記憶時と同じ状態で維持するという“受動的な保持” (Richardson & Vecchi, 2002; Vecchi & Cornoldi, 1999; Vecchi, Monticellai, & Cornoldi, 1995; Vecchi, Richardson, & Cavallini, 2005) には作動記憶の VSSP の資源が消費され、本研究のような情報処理と交互連続的に作業する保持には CE の資源が消費される可能性がある。

Logie (1986) は、被験者にイメージを生成して保持

する課題と単に入力された無意味図形を再生する課題を同時に遂行させた場合には、生成されたイメージの保持が無意味図形の保持によって妨害を受けることを示した。この結果は、生成されたイメージの保持が VSSP 資源を消費する認知作業であることを明確に示している。しかし、処理される情報と保持される情報が互いに関係を持ち、処理された情報を保持して、さらに処理するといった、交互連続的作業を必要とする認知課題では、その保持に CE 資源が消費されると考えられる。このことから、作動記憶の CE と VSSP がいかに機能するかは認知課題の特性により異なる可能性がある。

引用文献

- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, **49A**, 5-28.
- Baddeley, A. D. & Logie, R. H. (1999). Working memory: The multiple-component model. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory* (pp. 28-61). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Cocchini, G., Logie, R. H., Della Sala, S., MacPherson, S. E., & Baddeley, A. D. (2002). Concurrent performance of two memory tasks: Evidence for domain-specific working memory systems. *Memory and Cognition*, **30**, 1086-1096.
- Duff, S. C. & Logie, R. H. (1999). Storage and processing in visuo-spatial working memory. *Scandinavian Journal of Psychology*, **40**, 251-259.
- Duff, S. C. & Logie, R. H. (2000). What's working in working memory: A role for the central executive. *Scandinavian Journal of Psychology*, **41**, 9-16.
- Duff, S. C. & Logie, R. H. (2001). Processing and storage in working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **54**, 31-48.
- Finke, R. & Slayton, K. (1988). Explorations of creative visual synthesis in mental imagery. *Memory and Cognition*, **16**, 252-257.
- Furst, A. J. & Hitch, G. J. (2000). Separate roles for executive and phonological components of working memory in mental arith-

- metic. *Memory & Cognition*, **28**, 774–782.
- Heathcote, D. (1994). The role of visuo-spatial working memory in the mental addition of multi-digit addends. *Current Psychology of Cognition*, **13**, 207–245.
- Logie, R.H. (1986). Visuo-spatial processing in working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **38A**, 229–247.
- Logie, R.H., Gilhooly, K.J., & Wynn, V. (1994). Counting on working memory in mental arithmetic. *Memory and Cognition*, **22**, 395–410.
- Palladino, P., Mammarella, N., & Vecchi, T. (2003). Modality-specific effects in inhibitory mechanisms: The interaction of peripheral and central components in working memory. *Brain and Cognition*, **53**, 263–267.
- Pearson, D.G., Logie, R.H., & Gilhooly, K.J. (1999). Verbal representations and spatial manipulation during mental synthesis. *European Journal of Cognitive Psychology*, **11**, 295–314.
- Pearson, D.G., Logie, R.H., & Green, C. (1996). Mental manipulation, visual working memory, and executive processes. *Psychologische Beitrage*, **38**, 324–342.
- Quinn, J.G. & McConnell, J. (1996a). Exploring the passive visual store. *Psychologische Beitrage*, **38**, 355–367.
- Quinn, J.G. & McConnell, J. (1996b). Irrelevant pictures in visual working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, **49A**, 200–215.
- Quinn, J.G. & McConnell, J. (1999). Manipulation of interference in the passive visual store. *The European Journal of Cognitive Psychology*, **11**, 373–389.
- Richardson, J.T.E. & Vecchi, T. (2002). A jigsaw-puzzle imagery task for assessing active visuospatial processes in old and young people. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, **28**, 12–22.
- Seitz, K. & Schumann-Hengsteler, R. (2000). Mental multiplication and working memory. *European Journal of Cognitive Psychology*, **12**, 552–570.
- Seitz, K. & Schumann-Hengsteler, R. (2002). Phonological loop and central executive processes in mental addition and multiplication. *Psychologische Beitrage*, **44**, 275–302.
- Shah, P. & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, **125**, 4–27.
- Vecchi, T. & Cornoldi, C. (1999). Passive storage and active manipulation in visuo-spatial working memory: Further evidence from the study of age differences. *European Journal of Cognitive Psychology*, **11**, 391–406.
- Vecchi, T., Monticelli, M.L., & Cornoldi, C. (1995). Visuo-spatial working memory: Structures and variables affecting a capacity measure. *Neuropsychologia*, **33**, 1549–1564.
- Vecchi, T., Richardson, J.T.E., & Cavallini, E. (2005). Passive storage versus active processing in working memory: Evidence from age-related variations in performance. *European Journal of Cognitive Psychology*, **17**, 521–539.

(2005年8月30日受稿, 2006年10月25日受理)