

ひとりでやるか？みんなでやるか？：仕事における最適な作業切替時期の検討

Many hands make *Right* work? : Evaluation of the optimal switching periods in a work

^{*}里居伸祐・^{**}山田勝雅・^{***}小國仁嗣

^{*}九州大学理学部, ^{**}水産総合研究センター西海区水産研究所, ^{***}島根大学総合理工学部

^{*}Shinsuke Sato, ^{**}Katsumasa Yamada and ^{***}Hitoshi Oguni

^{*}Department of Biology, Kyushu University, Fukuoka 812-858, Japan

^{**}Seikai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency,

Taira-machi 1551-8, Nagasaki, 851-2213, Japan

^{***}Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering Shimane University,

1060 Nishikawatsucho, Matsue-shi, Shimane, 690-8504 Japan

ある「仕事」の達成を目指し効率の最適化を図ることは、古典的な課題でありながら、場合に応じた多様な最適選択肢について検討する必要がある、現在も議論の最中にある。本研究は、同一の仕事を長時間行くと作業効率が低下することを前提条件とした場合のある2種の仕事を達成するための最適化を図るため、特に、最適な作業切り替え時期について数理モデルを用いて検討した。モデルによって、(1) 仕事全体の時間が短い(仕事量が少ない)場合、その仕事に対する得手不得手に応じて仕事時間(量)を配分すること、(2) 仕事全体の時間が長く(仕事量が多く)、また、その仕事に対する得意さが様々である場合は、得意な仕事を専業すること、の2つの場合に仕事の効率化・最適化に繋がることが示唆された。

1. はじめに

集団レベル、個人レベルを問わず、「仕事」に対する成果量の効率化を図ることは、古典的な学術課題のひとつであり、現在も議論の最中にある。これまで、例えば、仕事と休憩のバランス配分による最適化 (Bechtold and Sumners 1988)、仕事に直接関連しない精神的イベントや健康状態と最適な仕事効率の関係 (Kopelman et al. 1983)、マネジメントによる最適化 (Gunasekaran et al. 2000)、仕事の量や質、仕事時間に応じた最適化 (e.g., Thomas 2000, Huang et al. 2002)、等仕事効率の最適化が検討されており、非常に多面的な研究アプローチが必要とされている。

仕事効率の最適化の検討において、これまで多くの研究が、仕事の量、質、時間といった指標の定量化を行ってきた。しかし、もしもその仕事に従事する人が、その仕事の質に対して得手不得手が合った場合、作業効率は大きく変化し、従来の評価手法の適用が困難になるだろう。例えば、神代ら (1976) は、120 分に及ぶ複数の若い男女のスタンプ押し作業を実験的にを行い、単調作業の連続が作業効率の顕著な低下をもたらすことを示唆している。

本研究は、仕事効率化・最適化を図るため、特に、専業・兼業に焦点を当て、2つの仕事を達成することを効率化・最適化させる時間配分を数理モデルによって提示する。モデルでは特に、仕事の得手不得手に注目しているため、専業を「1人が1つの作業を行う状態」、兼業を「1人が複数の作業を

行う状態」として定義するとともに、(1) 長時間同じ作業を行うと作業効率が低下すること、(2) 他の作業に切り替えると作業効率が回復する、という2つの前提条件に従った。

2. Model

最初に、仕事Aと仕事Bを設定し、切り替えのタイミングの最適化を検討するために、以下の数理モデルを立てた。

$$\phi = \int_0^{\tau} \{a(e^{-ct^2} - 1) + \alpha\} dt + \int_{\tau}^T \{b(e^{-s(t-\tau)^2} - 1) + \beta\} dt \quad (1-1)$$

$$\beta = a(e^{-c\tau^2} - 1) + \alpha \quad (1-2)$$

時間0から τ までは仕事Aを行い、時間 τ から T までは仕事Bを行うとして、それぞれの仕事を長時間行うと徐々に生産性が低下していくが、仕事を切り替えるとその低加速度が回復するとしている。また、仕事Aの生産効率の低下を $a(e^{-c\tau^2} - 1)$ 、仕事Bの生産効率の低下を $b(e^{-s\tau^2} - 1)$ として表現した。すなわち、 $a > b$ 、 $c > s$ であれば仕事Aの生産効率の低下は、仕事Bの生産効率の低下よりも速い。そこで、 b/a 、および s/c を仕事Aに対する仕事Bの苦手度合いと考える。また、時間0の時には仕事Aの生産効率は α で表されており、時間 τ の時の仕事Bの生産効率 β は仕事Aが終わった時の生産効率に等しいものとしている。

式(1-1)により、仕事Aと仕事Bをいつ切り替えるのが良いのか、最適な τ を計算することで、特に初期生産効率 α の違いや、AとBの仕事の違いからくる仕事の苦手度合いの違いに対する最適な切り替えタイミングを検討した。

また、本モデルは仕事Aの仕事Bの違いに特に着目しているため、 $a = c = 1$ 、すなわち、次式に従い算出した。

$$\phi = \int_0^{\tau} (e^{-t^2} - 1 + \alpha) dt + \int_{\tau}^T \{b(e^{-s(t-\tau)^2} - 1) + \beta\} dt \quad (2-1)$$

$$\beta = e^{-\tau^2} - 1 + \alpha \quad (2-2)$$

3. 結果

3.1. 仕事Aと仕事Bが同質である場合

仕事Aと仕事Bが同質として、 $a = b = 1$ 、 $c = s = 1$ の非積分関数について検討した (Fig. 1)。その結果、最適な $\tau \approx 0.3$ であった。これは、仕事Aにおける生産量（すなわち τ までの面積）と、仕事Bにおける生産量が同等になるような τ である。

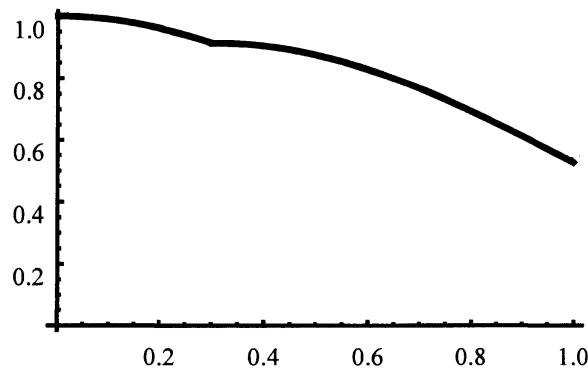


Fig. 1. $a=b=1, c=s=1$ の場合の(1-1) 式の被積分関数。

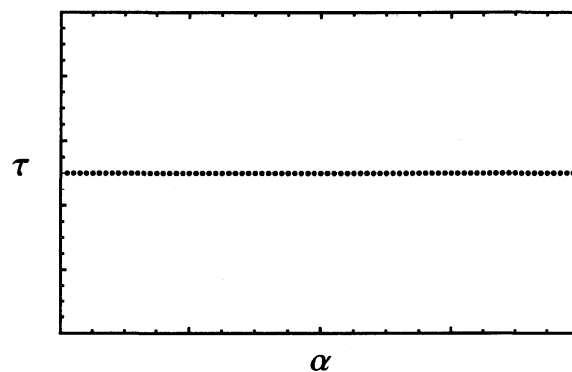


Fig. 2. τ の α に対する依存性。グラフは $T=1, b=1, s=1$ を示す。
全てのケースで同様な直線的な挙動を示した。

3.2 パラメータ依存性

パラメータ依存性を検討するために、各パラメータの増減に対しての τ の変化を調べた。この時、 τ は α に依存しないため、 α 以外のパラメータ、 b, s, T に対して、注目するパラメータ以外タ 2 つをいくつかの値 (0.5, 1, 2, 4, 8) に固定することで、パラメータ依存性を検討した (すなわち、1 つのパラメータに対する 25 のパラメータセットの依存性について検討した)。

3.1.1. α および b に対する依存性

τ は α に依存しないことが明らかになった (Fig. 2)。 τ の b に対する依存性は、 T の値によって大きく異なっていた。 $T=1, s=1$ の場合、 τ は b の増加とともにゆるやかに増加し、やがて $\tau=T$ となる (Fig. 3a)。このことは、仕事 A に対する仕事 B の苦手度に依存して、仕事 A をより増加させる (長期間) ことがより効率的であることを示唆している。 $T=2, s=1$ の場合、 τ は増加するが、 b がある値を超えると $\tau=T$ となった (Fig. 3b)。このことは、B の仕事はほとんど行わない方がより効率的であることを示唆している。

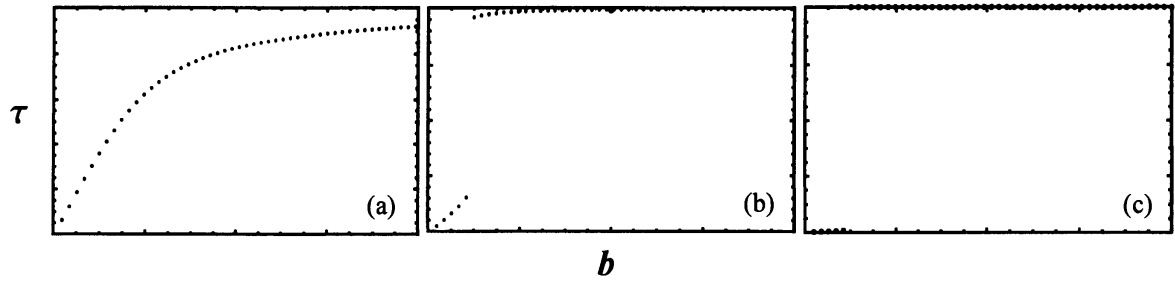


Fig. 3. τ の b に対する依存性。 (a)-(c) は異なる T と s の場合での結果を表している：
 (a) $T = 1, s = 1$, (b) $T = 2, s = 1$, (c) $T = 8, s = 1$.

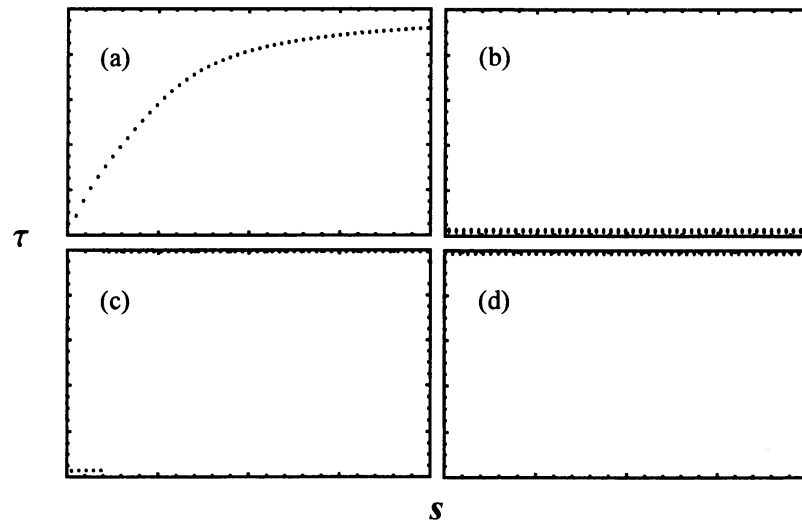


Fig. 4. τ の s に対する依存性。 (a)-(c) は異なる T と b の場合での結果を表している：
 (a) $T = 1, b = 1$, (b) $T = 4, b = 0.5$, (c) $T = 4, b = 1$, (d) $T = 4, b = 2$.

$T = 1, s = 1$ の場合、 τ は b の増加とともにゆるやかに増加し、やがて $\tau = T$ となる (Fig. 3a)。このことは、仕事 A に対する仕事 B の苦手度に依存して、仕事 A をより増加させること（長期間）がより効率的であることを示唆している。 $T = 2, s = 1$ の場合、 τ は増加するが、 b がある値以降 $\tau = T$ となった (Fig. 3b)。このことは、B の仕事はほとんど行わない方がより効率的であることを示唆している。 $T = 8, s = 1$ の場合、Fig. 3b で示した結果よりも極端な挙動を示した (Fig. 3c)。このことは、労働時間が長い場合は、どちらかの仕事のみをした方がより効率的であることを示唆している。

3.1.2. s に対する依存性

s は b の場合と同様に、 τ の s に対する依存性は、 T の値によって大きく異なった。
 $T = 1, b = 1$ の場合、 τ は s の増加とともにゆるやかに増加し、 $\tau = T$ となった (Fig. 4a)。このことは、仕事 A に対する仕事 B の苦手度の高さに依存して、仕事 A に費やす時間をより増加させることがより効

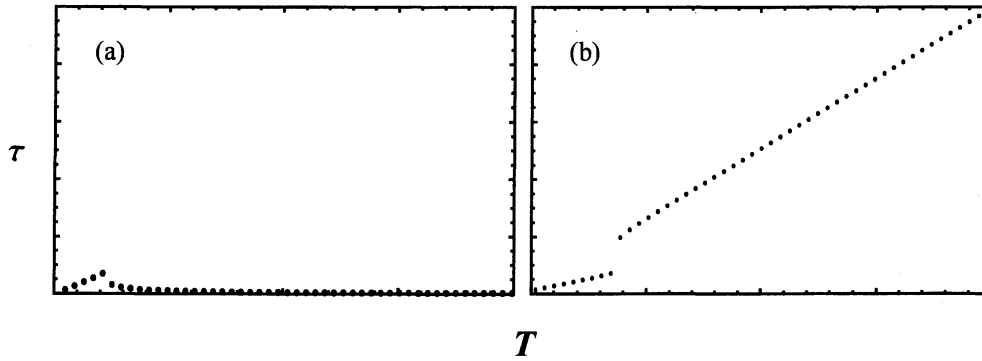


Fig. 5. τ の T に対する依存性。(a)-(b)は異なる b と s の場合での結果を表している：
(a) $b = 0.5, s = 8$, (b) $b = 2, s = 0.5$.

率的であることを示唆している。また、 T の増加に伴い、 b の場合と同様に s がある値を超えると τ が急激に変化するような挙動を示す。 $T = 4, b = 0.5$ の場合、 s の値に関係なく常に τ は非常に小さな値をとるが (Fig. 4)、 $T = 4, b = 1$ の場合は、 s が小さい値の際には τ は小さな値を取り、逆に s が大きい値の際には τ は大きな値を取る (Fig. 4c)。また、 $T = 4, b = 2$ の場合、 s の値に関係なく τ は常に大きな値を示した。これらのことから、 s よりも b のほうがどちらの仕事をするのかの判断に対する影響が強いことがわかる。 $b \approx s$ の場合、 s が小さい値の際には仕事 A は行わず B の仕事のみを行っていたほうがよく、逆に s が大きい値の際には仕事 B は行わず仕事 A のみを行ったほうがより効率的であることを示唆している。

3.2.4. T に対する依存性

T の値によって最適な切り替え時間 τ の値が大きく異なることが示唆された (Fig. 3, 4)。このことは、 T に対する依存性を調べることによって更に詳細に理解することができる。

$b = 0.5, s = 8$ の場合、 T に対する最適な τ を示した (Fig. 5a)。 T が小さい値の場合、 τ は中間的な値を示すが、 T の増加に伴い τ は急激に 0 値へと向かう傾向を示した。逆に $b = 2, s = 0.5$ の場合、 T の増加は $\tau = T$ へ収束した。この結果は、Fig. 3, 4 で見られる、 T がある程度大きい場合には、 b や s の値に応じて τ は 0 か T の両極端な値をとることを端的に示している。

3.3. τ の 2 値的変動について

$T = 2, s = 1$ の場合、 τ は増加するが、 b がある閾値以降が $\tau = T$ となった (Fig. 3b)。このような 2 値的な変化は、式 (1-1) を τ について微分することで考察することができる。

$$\frac{\partial \phi}{\partial \tau} = b - b e^{-s(T-\tau)^2} + 2e^{-\tau^2} \tau(\tau - T) \quad (3)$$

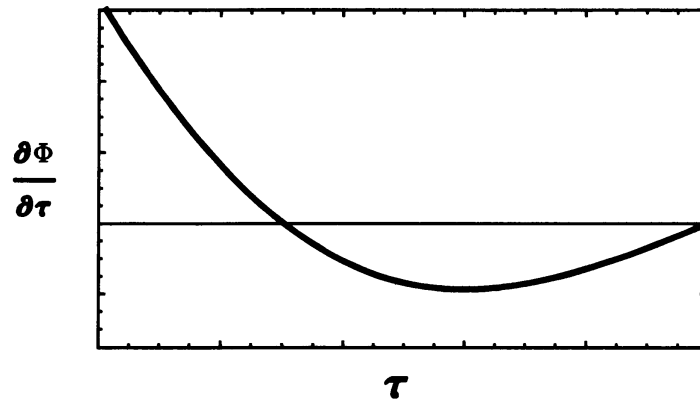


Fig. 6. $\partial\phi/\partial\tau = 0$ を満たす τ の変化 ($T=1, b=1, s=1$)。

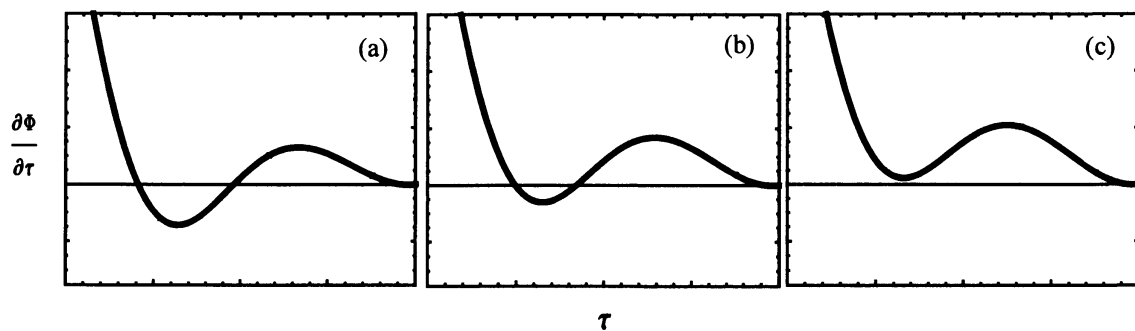


Fig. 7. $\partial\phi/\partial\tau = 0$ を満たす τ の変化 ($T=2, s=1$)。 (a)-(c) は異なる b 場合での結果を表している：
(a) $b=1.2$, (b) $b=1.3$, (c) $b=1.4$.

(3) = 0 として解析的に最適な τ は算出できないが、グラフを書くことでその振る舞いを知ることができる。

Fig. 6 は式 (3) の挙動を表している。グラフと $\partial\phi/\partial\tau = 0$ の交差する点が極値のひとつであり、 $\tau=0.3$ 付近と 1.0 付近で極値を示した。この結果は、Fig. 1 の $\tau=0.3$ と矛盾しない。

Fig. 3b のように、 b が大きくなると最適な切り替え時間 τ が急激に $\tau=T$ に近づく原因を解明するため、 $T=2, s=1$ における $\partial\phi/\partial\tau$ の挙動に注目した (Fig. 7)。

b の増加に伴う $\partial\phi/\partial\tau$ の挙動の変化に注目すると、 $\tau=0.5$ 付近の極小値は少しずつ上昇し、最終的には $\partial\phi/\partial\tau = 0$ と交差しなくなって極値が消滅した。このような挙動が Fig. 3 で最適な τ が 2 値的な挙動をとる要因である。また、最適な τ とシミュレーションで計算したものではわずかながら違いがあるが、その原因の解明には至っていない。

4. 考察

本研究は数理モデルを用いて 2 つの仕事がある場合にその仕事の「得意さ」に注目し、どのようなタイミングで作業（仕事の質）を切り替えることで効率化が見込めるか、その最適な時間 τ を算出した。モデルより (1) 仕事全体の時間が短い（仕事量が少ない）場合、その仕事に対する得手不得手に

応じて仕事時間（量）を配分すること、(2) 仕事全体の時間が長く（仕事量が多く）、また、その仕事に対する得意さが様々である場合は、得意な仕事を専業すること、の 2 つの場合に仕事の効率化・最適化に繋がることが示唆された。

本研究によって、仕事の最適化のための数理モデルアプローチにおけるいくつかの課題も得られた。例えば、パラメータ b と s の現実への対応が挙げられる。本研究では、 b/a 、および s/c として、仕事 A に対する仕事 B の苦手度合いとして捉えた。しかし、 b と s がどのように違い、実際の仕事作業におけるどのような要素（作業内容）と対応付けられるかは明確に定義されてない。実際の作業内容と対応する b, s を導入することで、より一層現実の様々な仕事に対する最適化を図ることができる可能性がある。また、特にパラメータに関して同様に、 b/a 、仕事時間 T の最適値を定量的に評価できていないことは、仕事の最適化のための数理モデルアプローチにおける残された重要な課題の 1 つである。

本研究から、仕事全体の時間が短い場合は仕事の得手不得手に応じて仕事時間を配分することで効率化・最適化を見込めるが、仕事全体の時間が長く、また、行う仕事の得意さが大きく異なる場合は得意な仕事のみを行ったほうが良いことが示唆された。しかし、仕事における最重要要因である生産効率の減衰動態について未解明なままとなっており、今後の進展が望まれる。また、本研究は単純なモデルにて枠組みを検討するため、仕事量をもっともシンプルな A と B の 2 値に限定した。本研究を基礎的な骨組みとして、今後、 n 種類の仕事がある場合を考えることでより実用的な結果を得ることが期待される。

引用文献

- Bechtold S.E. and Sumners D.L. (1988) Optimal work-rest scheduling with exponential work-rate decay. *Management Science*, 34: 547-552.
- Gunasekran A., Forker L., and Kubo B. (2000) Improving operations performance in a small company: a case study. *International Journal of Operations and Production Management*, 20: 316-335.
- Huang C., Chang J., Lai C., and Lin C. (2002) Worker productivity, working time reduction, and the short-run and long-run employment effects. *Scottish Journal of Political Economy*, 49: 357-368.
- Kopelman R.E., Greenhaus J.H., and Connolly T.F. (1983) A model of work, family, and interrole conflict: A construct validation study. *Organizational behavior and human performance*, 32: 198-215
- Thomas H. R. (2000) Schedule acceleration. Work flow, and labor productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 126: 261-267
- 神代雅治, 斉藤和雄, 高桑栄松 (1976) 単純繰り返し作業としてのスタンプ押し作業による作業負担, 産業医学, 18: 117-122.