

生動機械論： 談認知建築與環境互動的機制*

劉希文

靜宜大學人文科**

摘要

認知能力在工作層次的適應至今仍缺一個機械論，本文意在填補此缺口，尤其是要研究生物體如何可能在與複雜環境互動之下調適自我而完成工作。本文所採取的進路是認知科學的，並從事一個「主動知覺」的個案研究，根基於其演算法而建立一個新概念——漸增式調適——用以描繪「認知適應」之機制。這個概念將取代傳統機械論的「時鐘」隱喻，並且成為複雜調適系統的一種理論原型。據此概念，本文尋求超越傳統知識論的主客對分，而將世界視為是認知活動本質的一環；並回應匯勒與克拉克(1999)提出的「基因式表徵」，提出更進一步的機制概念來解釋內外認知能力的關連。

關鍵詞：機械論、生動機器人研究、複雜調適系統、調適

* 作者感謝兩位匿名審查人所惠賜之寶貴意見。本論文是作者向行政院青輔會所提博士後短期研究「生成在知覺中的角色」之研究計劃，謹此向青輔會致謝。

** 作者寫作本文時於國立清華大學哲學研究所作博士後研究，最後修訂時任職於靜宜大學人文科。

投稿日期：民國八十九年一月十八日；接受刊登日期：民國八十九年八月二十九日。

責任校對：徐秀儀

壹、前言

傳統機械論的主題是宇宙自然，而生動機械論的主題是動物(包括人類)的心靈，特別關注到認知建築與其棲息環境的互動。本文主要的目的是要超越傳統的「時鐘」隱喻，¹ 以樹立一個適合於現今「複雜調適系統」的機械論，特別在此研究裡是要適合於生動機器人(*animat robots*)，以針對這樣的複雜機制，**開啓**哲學上的討論與理解。生動機器人研究比較於傳統機械論形成的科學背景(從哥白尼的天體論到牛頓物理學)，最大的不同點在於理解生動機器人之機制(或規律性)所要考慮的兩個要點：**1.環境**的複雜度與變動性——那是複雜、變動到難以用一組規則來描述的——以及**2.生動機器人在執行工作(tasks)時所表現出的靈活度與適應環境的能力**。

一、定義「生動機械論」

生動機械論(*animat mechanicalism*)之「生動」源於認知科學裡一個新興的學門：生動機器人研究(*Animat Research*，或稱 *Animat robotics*，因為生動機器人研究是機器人研究的一支)。「生動」一詞在此脈絡之下指涉到一個模擬生物體生存方式的機器人(*an artificial organism*)，那是一種**在實在環境裡**(以別於模擬系統的**實驗室環境**、或只是虛擬實境〔*virtual realities*〕)表現出某種實在生命之**行為特徵**(以別於**形態特徵**—*morphological characteristics*)的人工系統。這樣的行為特徵特別指涉到，實在生物體為了在它們的

¹ 時鐘隱喻是傳統機械論用來了解自然之機制的一個概念工具，大致說來此一隱喻蘊涵了自然規律之可理解性與決定性，此二特性仍然隱涵地出現在目前許多的認知研究裡。對照之下，生動機械論之為一個應用到認知的機械論，要說明認知之運作有其不甚可理解之特性(見本文貳(二))、與非決定性(見本文捌(3))，所以本文重提、並挑戰此一隱涵於認知研究裡的隱喻。

棲息環境 (或稱「棲息地」) 維繫生命，而有的行為表現，例如：狩獵、採集收穫東西 (**gathering**)、學習、溝通以及集體行為 (**collective behaviour**)。²

基於以上的定義，生動機械論關切到生動機器人在實在環境裡生活的機制。這尤其關連到工作層次 (**task-level**) 的調適行為，以別於發展 (**development**) 的機制、或達爾文演化論之方法所言及的適應轉變的機制。因此，本文強調的重點是生動機器人在變動環境裡、在現實生活中 (既不是經由年齡增長的過程、也不是經由遺傳) 所作的行為調適。本文特別關切一個「什麼」的問題：是什麼賦予生動機器人 (或動物) 能力，使他們能夠在實在時間的限制之下，作自我調整以適應變動、甚至有些不可預測的環境狀況。

二、複雜調適系統

雖然本文的進路既不是演化的也不是發展的 (而是著眼於工作層次)，生動機器人仍值得被放在人工生命研究 (**artificial life research**，或 **ALife research**)³ 的脈絡來看，以凸顯生動機器人的一

² 關於生動機器人 (**animats**) 的論題與其討論，最多出現在 *From Animals to Animats 1(- 5): Proceedings of the First(- Fifth) International Conference on Simulation of Adaptive Behavior, 1991, (1993, 1994, 1996, 1998)*. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books。此外，在論文期刊部分，主要是 *Adaptive Behavior* (第 1-7 卷由 *International Society of Adaptive Behavior* 在 1993 到 1999 年出版)。此外，在「複雜調適系統 (**complex adaptive systems**)」的標題之下，也有許多是談到生動機器人的。

³ 在此對翻譯必須有個但書：「人工生命」一詞不是指人工培養的生命。「人工生命」一詞是 “**artificial life**” 的直譯，以取得與「人工智慧 (或人工智能)」一詞翻譯的一致性。然而，如果就意義而言，「人工生命」一詞容易讓人想成是人工培養的生命，例如複製羊「桃莉」與複製豬。其實 “**artificial life**” (或 “**ALife**”) 的本意並非如此，而是指用電腦或機器人來表現關於生命的種種性質。對照之下，「模擬生命」或「虛擬生命」似乎是更能夠表達用電腦或機器人來呈現生命性質的意義；但是「模擬」與「虛擬」這兩個詞已經分別被用來翻譯 “**modelling/simulation**”

個重要身分——複雜調適系統——如果依據侯藍 (Holland) 的看法，這樣的系統有以下七點特質 (Holland 1995)：

1. 複雜調適系統是由一大群簡單作用者 (agents) 持續互動所組成。
2. 這些系統的行為得自於作用者互動之下的**聚集行為 (aggregate behaviour)**。
3. 聚集行為裡個體的互動原理是非線性的 (nonlinear)，也就是說，表現出來的行為不能只得自於諸個體 (眾作用者) 行為之和 (sum)，描述所有個體的行為並不等於描述聚集行為。⁴ 這樣的互動原理大抵是建基於一些構思的原型 (prototype)：主要者是「胞移 (boids)」⁵ (Reynolds 1987)、白蟻築巢或螞蟻覓食。
4. 這些作用者不但為數眾多，而且還可以經由演化而分化得

與“virtual” (realities)，意思上偏離了機器人，而變成為電腦軟體，不再作用於實在環境，與“artificial life”一詞的主流看法相悖。綜上所述，本文還是採「人工生命」一詞，以保持直譯的一致性，但是必須附加以上但書。

⁴ 認知論(cognitivism)的維護者常因著「對大腦的描述精細到所有的個體(神經原)之原子、電子的層次，並不構成對認知的描述」，而遽下斷言說「認知不能由**大腦的活動**來解釋」，並認為這樣的論證已經足以推翻物理主義(physicalism)。其實，這是一個錯誤推論。理由除了多重實現(multiple realisability)之可能性的問題外，在此值得一提的是大腦是個複雜調適系統，大腦訊息的形成多是聚集性的，描述大腦所有個體的行為並不等於描述大腦的聚集行為，對大腦的描述精細到所有的**個體**原子、電子的層次，基本上並不構成對大腦行為之描述。認知活動仍然可以被想成是由大腦(的聚集)活動所構成。以上說明可以支持非化約性的物理主義(non-reductive physicalism)，如果在此「物理」的意義包含生理的話。值得注意的是，認知的不可化約性(irreducibility)，加上認知層次無可否認的組成性(compositionality)，使認知層次(有別於大腦層次)的解釋，取得一定程度的自主性(autonomy)。

⁵ 各個「胞移」控制於下列三項「活動指導(instructions)」：(1)與障礙物或其他「胞移」維持一個最短的距離，(2)速度取周圍諸「胞移」速度之平均值，(3)飛往可見之諸「胞移」的重心(引自 Franklin 1995, p. 186)。

彼此互異 (**diverse**)。

5. 這些作用者儘管彼此歧異，其間的互動仍有共同的原理。
6. 這樣的互動之下，會產生新而互異的作用者，及其新的棲息環境。
7. 作用者的行為因其有著內在模型 (**internal models**) 的控制，而可以預料 (**anticipate**) 其一連串的行動會遭逢到環境的什麼狀況，例如居住房間的牆壁預料會是直立的 (**Holland 1995, pp. 45-6**)。

以上七點裡，若要存留「複雜調適系統」的定義條件，嚴格說來只有(2)與(3)算作是此概念的最主要意義 (**leading meaning**)，可作為其充要條件；其它點則是個別關聯於「複雜調適系統」不同的理論原型。以一個例子來說，自主作用者 (**autonomous agents**) 之導航 (**navigation**) 能力的獲得，並沒有預設許多個作用者，只要單一作用者就可以取得此能力，這點可見於許多生動機器人的架設 (**implementations**)。可見，「聚集行為」的要件主要並不是在要求(參與該行為之)作用者的數目，其實，重要的是生成 (**emergence**) 的過程：⁶ 類似於(3)所述，表現出來的行為不能只得自於**諸參與個體之作用和**，描述所有個體的行為(例如諸參與個體的「活動指示 (**instructions**)」)並不等於描述整體的行為。請注意這段表述與(3)的主要差異點——「諸參與個體之作用和」——這些個體可以是上述的作用者或單一個體裡的功能模組 (**functional modules**)，而「整體的行為」可以指諸功能模組之間的互動。

此外，依據侯藍的看法，複雜調適系統的組成份子之間，將會分化得彼此愈來愈歧異，以成就更高程度的調適行為，而這是

⁶ 關於認知功能的生成，請參考 Cariani (1991)，Holland (1995)，Clark (1996)，Hendriks-Jansen (1996)，以及 Liu (1998) 之討論。

由於各個作用者在環境中作用的結果(outcomes)，有針對作用者的種種特徵(例如顯型)作特徵識別(tags)，以進行彼此間的比較、篩選與留存，並且這樣的比較是反復(iterative)的、不斷進行的，而諸作用者之間在進行不斷的隔代結合與再結合(recombination)(Holland 1995, pp. 47-9)。那麼，就會產生關於本文主題的一個疑難。如果依侯藍所指出的要點來看，複雜調適系統之所以能夠調適，是由於「隔代」的結合與再結合，那不也就隱涵說在「工作層次」不可能有調適之行爲嗎？如果是這樣，本文主要的關注點——在「工作層次」的調適行爲——當如何解釋，恐怕是一大難題了。這是本文所須面對的一個重大挑戰。

當然，難處也可以被當作是突破之起點。本文要以主動知覺(active perception)⁷為證，用一個新的角度來看複雜調適系統，嘗試說明：即使只是在「工作層次」的過程裡，也就是在單一工作這樣的短時間裡(甚至不涉及學習)——例如視覺追蹤一隻奔跑中的花鹿——也有在進行反復不斷的比較、特徵識別、篩選與留存，根本不必有「隔代」的結合，就可以有複雜調適系統的行爲調適。

貳、為什麼生動機械論有趣呢？ 因為它處理一些困難但是耐人尋味的問題

或許有人會問，研究生動機器人到底與人類智能有什麼干係？其實，生動機械論本身就有其趣味，因為它可以作為對生動機器人研究的哲學討論；然而更有趣的是，由於生動機器人研究作為人工生命研究之一部分而有的一個基本特質：由於「模擬」生命研究基本上具有對「實在」生命的解釋力(Langton 1989)，生

⁷ 見第參節的詳細討論。

動機械論將不只適用於生動機器人，它並且將呈顯對實在生物智能(尤其是人類智能)的解釋力。

一、什麼是「互動」，在概念上仍不清楚

「生物體與環境的互動(organism-environment interaction)」這一概念，環繞於「複雜調適系統」之理論概念，已經在 1990 年代頻繁地出現在許多學科，除了人工生命(artificial life)與生動機器人研究之外，還有發展心理學、發展認知神經科學、胚胎學以及演化生物學。然而，「互動」之樣態與方式，在概念上仍有待釐清。

二、複雜的過程不易理解 (understanding)，甚至超乎理解力 (beyond comprehension)

由於複雜過程的非線性 (non-linearity) 以及「生物體與環境互動」裡牽涉了某種程度的不可預測性，甚至還包括許多作用者或多元模組之間的互動，使複雜調適系統不易理解，甚至可能超乎理解力的範圍 (Boden 1995)。⁸ 在此情況下，如何卻可以在本文裡解釋、並在某一個程度上理解這些過程，就甚為有趣了。

三、適應調整 認知機制如何能夠在變動的環境之下適應調整，以致於滿足了工作的要求？真耐人尋味！

適應 (adaptation) 與調整 (modification) 是生動機械論的中心主題，也是它對傳統機械論最大的挑戰。傳統機械論建基於「時鐘」

⁸ 複雜調適系統之被認為是超乎理解力範圍，可見於以下文字：“But when several changes are made in parallel, it is often impossible to understand the generation of the image even though the explanation is available (Boden 1995, p.103).”

的隱喻，由於基本上時鐘不能自我調整，也無所謂適應環境的問題，生動機械論必須建基於不同的概念基礎。

比較起來，自動調溫器 (thermostat) 可以說是一個較合適的隱喻，因為它可以自動調整以適應環境的變化。但是，相較於認知能力，自動調溫器的功能實在太簡單了：它畢竟只是個目標於一固定點 (溫度) 的負向反饋迴路 (negative feedback loop)。依據目前認知科學對認知機制的理解，以及環境的高度變動性與複雜度，我們可以明確地推斷，生物體與環境互動的認知機制絕不會如此簡單。如果我們想要解釋自動調整與適應的能力，而不想把控制權往上層次推給一個精靈小人 (homunculus)，那麼，如何構思自動調整以適應環境的機制，實在是嘗試建立調適機械論的一大挑戰。

這樣的機械論因著「意在構思在工作層次自動調整以適應環境」的機制，而有其理論整合的意義：它可以作為演化心理學與機器人研究之間的橋樑。演化取向的心理學，運用心理學與演化生物學裡常用的一個概念——特徵 (trait)——來構思能力的性質，由於「特徵」這一概念被用在描述可觀察性質 (例如形狀、速度) 的脈絡裡，它並不適合於刻畫在工作層次調整內在認知控制的運作。對照之下，機器人研究裡不乏這樣的刻畫，那可明顯見於設計機器人的演算法 (algorithm) 裡關於訊息「開發 (exploitation)」的控制 (等一下就會說明什麼叫「開發」)。然而，這樣刻畫的概念在生動機器人研究及人工生命裡並不明顯，因為此二領域裡對聚集行為 (作用者的互動) 的構思，前面提過，大抵是建基於「胞移」、白蟻築巢、螞蟻覓食等的構思原型，其中缺乏訊息開發這一層面的設計。當我們在生動機械論裡構築了這一層面的設計之後，就藉著生動機器人研究與人工生命研究裡的演化層面，把機器人研究裡這一靈活的內在控制——在工作層次調整內在認知控制的運作——引進了演化心理學。這是一個跨學科的理論整合工作，很

是有趣。

四、心靈是多元的，那如何整合呢？是否在諸能力之間有一個優先順序——例如依布如克斯 (R. Brooks (1991)) 所提的「納入式建築 (subsumption architecture)」而呈顯的順位？

這一個問題近來在認知科學裡逐漸成為討論的焦點，例如 Minsky (1985) 認為心靈由多元「代理者 (agents)」所構成的一個社會 (society)，在此之建構下，記憶不是由一個像書架的東西存取 (retrieve) 出來的一個東西，而是由許多代理者 (agents) 所重建 (reconstruction) 出來的。Ornstein (1986) 比喻心靈像是由許多「稟賦 (talents)」所組成的「國協 (commonwealth)」。

儘管這樣的學說很能貼近認知科學所發現多元能力的事實，但是問題是，多元能力之間如何整合呢？這是一個大而泛的問題，要直接來回答它似乎是不得要領的，最好還是進行個案研究來得比較清楚。在此有個特徵描繪 (characterisation) 的問題：如果多元能力的機制分屬於不同的計算典範，那要如何描繪這些多元能力之間的計算控制才適當呢？過去認知科學的計算典範 (例如連結論)，⁹ 預設認知能力的計算控制即隱涵、構成於計算典範 (腦

⁹ 也許有人因著這裡「過去」云云的表述，而懷疑作者認定「連結論、符號論都已成過去」。其實，並不然。如果說是有此意味，那麼是不是也可以說以上表述意味著認知科學已成過去呢？作者當然都無此意思。這純屬對表述理解的問題。就好像以下例子中的「過去」並不蘊含「已成過去」：「過去的字典，必須要用紙張印刷，現在，電子字典再也不受此限制。」在此表述裡，顯然並沒有意味著用紙張印刷字典「已成過去」，新提出的方式或許深受喜愛，然而「過去」用紙張印刷字典的方式仍在許多情況裡有其存在的價值，因此到現在仍然繼續存在著。「過去」一詞精確地說，是意指著「過去所提出來的方式」，這樣才是比較適當的看法。同理，作者所言「過去認知科學的計算典範」，是指「過去認知科學裡提出來的計算典範」。

神經似的連結)；這在符號論的人工智慧(symbolic AI)亦然。¹⁰ 現在，描繪多元能力似乎不能再得助於此一預設了，然而多元能力間的整合可能會是什麼樣的建構方式呢？這是生動機械論所要處理的一個重要問題。

五、將「環境」這一個具高度變動性與複雜度的範疇納入機械論裡

描繪(characterise)環境是機械論傳統的一大難題，由於環境因素的複雜度與變動性，基本上很難找出**控制**環境因素的一組原理。空想像有此類原理之存在，也並沒有進一步科學學理上的根據，那麼，如何將「環境」納入機械論的範疇，就很費人心思了。

爲了尋求一個在科學學理上可行的方式來將「環境」這一範疇納入形上學的處理範圍，生動機械論不尋求用一組原理來**描繪**環境的複雜與變動因素，而用「生物體與環境的互動」的觀念，將環境因素的複雜度與變動性表現於「互動」的範疇裡，以生物體在環境裡的反應(response)來表達環境的特質。雖然這樣對環境的處理看來似乎是比**描繪**來得不夠直接，卻在一九九〇年代以來獲得認知科學——特別是生動機器人研究與人工生命研究——的高度支持。

這樣對環境的新處理方式，有其堅強的學理基礎，因爲它呼應了八〇年代中期以來對個體發生(ontogeny)的研究成果(以

¹⁰ 在此澄清一下，依文脈可以看出，此處「亦然」是指「預設認知能力的計算控制即隱涵於構成於計算典範」。由於文脈中符號論與連結論相對，括弧裡的文字「腦神經似的連結」是在明示所舉例子——**連結論**——之計算典範。這樣的表述方式有其長處：以括弧來舉例，並立即明示依據此例之所指是什麼。符號論既然不是文脈中所舉的例子(連結論)，所以其計算典範並不是指「腦神經似的連結」。

Oyama〔1985〕為分界），尤其是九〇年代的發展心理學（例如 Karmiloff-Smith〔1992〕），以及發展認知神經科學的研究成果（例如 Johnson〔1993, 1997〕與 Quartz and Sejnowski〔1994, 1998〕）。如今，「環境」這一個具高度變動性與複雜度的範疇，經由「生物體與環境的互動」的觀念，已經在科學研究裡顯見可控制的機制，因此，我們可以據此為支持，將這一以「互動」為基調的「環境」觀納入機械論裡。

六、適應性 (adaptability) 及靈活性 (flexibility) 之來源的問題

由於關心能力生成的軌跡，生動機械論不只是關心認知能力的橫切面（平面的能力分析），它還關切認知能力的縱切面——認知能力在演化及發展上的來源。布如克斯之「納入式建築」的觀念觸及了這個問題：基本上，納入式建築的向上方向——由簡單到複雜——對應於演化的方向。然而這樣的觀念充其量只是在「描繪」諸能力之間發生的順序，並不解釋「如何(how)」的問題：生物體的生成過程如何運用既有的能力而發展出更複雜的能力，以支持認知能力更高度的靈活性及適應性？

此一問題對生動機器人研究有著方法論上的困難，基本上是由於該研究強調聯結簡單的有限狀態機器 (finite-state machines)，以對環境因素作出立即反應，而缺乏運用認知內在控制的設計 (Maes 1995)。生動機械論必須克服此方法論上的困難，處理有限狀態機器與內部模型之間的關連，來解答以上「如何」的問題。

這個問題的處理，也觸及了匯勒與克拉克 (1999) 所討論「內、外認知如何關連？」的問題，如以下(八)所討論。

七、現實時間 (real time) 限制之下，如何依相干性 (relevance) 而選取的問題

適當地關聯(到與當下處境相關的知識)對人來說是直覺、快速而簡單的，但對人工智慧研究來說卻是一大難題，這就是有名的「框架問題 (frame problem)」：什麼才是表徵智能的適當框架，¹¹這個問題在傳統人工智慧 (symbolic AI) 一直懸而未決。而對神經網路研究，也有「現實問題」——現實環境 (real environment) 與現實時間——的挑戰。

八、內外控制交互合作的問題

動物的智能有內外兩個來源 (Clark 1996, 1997; Clark and Wheeler 1998; Wheeler and Clark 1999)：運用表徵模型 (model of representations) 的控制——內部智能——以及身體的境況性反應 (situated reaction)¹² 之控制——外部智能——問題是，兩者之間的關係至今仍不甚清楚。

在機器人研究裡，內外控制的交互關係被看成是個「交換」(trade-off) 的問題：控制在環境裡的活動(可稱作「對外控制」)叫探測 (exploration)，將所探測得的訊息加以整理、推論，再做進一步的運用(可稱作「在內控制」)，叫做開發 (exploitation)；其中一者參與控制的份量增加，另一者的份量就要因而減少，反之亦然。由此可知，即使對於基於行為的機器人 (behaviour-based robots)(相對於基於模型的機器人—— model-based robots)，在內控制的使用是免不了的，雖然那並不等於是運用表徵模型的控制；這樣的在

¹¹ 框架知識表徵的一種基本方式，有別與腳本 (script)。這些都是認知心理學裡的基本概念。

¹² 關於外部智能的存在，在 Varela *et al.* (1991) 有特別的強調。

內控制可見於瑪絲 (Maes 1990) 所示範使用能量散佈 (energy spreading) 以控制行動的方法論。本文期待提出一個觀念，來說明一種能夠關連內外部智能，並連結對外控制與在內控制的方式，這可見於本文所要介紹的一種過程：「漸增式調適」的過程，如下一節所論。

九、認知性質的轉變： 從抽象的認知轉到境況性認知

最後，但絕不是最不重要的一點，生動機械論牽涉到一個關於認知本質的哲學思考：認知之基本性質是什麼？是個抽象的程式（構成於內在表徵之間的關係），抑或是境況性的（「成體的」〔embodied〕與「嵌入的」〔embedded〕）？生動機械論支持認知的境況性性質。在此，「認知是成體的」意指認知的性質基本上反映了取決於身體與大腦的性質 (Lakoff and Johnson 1999)，¹³ 特

¹³ 關於此處引 Lakoff and Johnson (1999)，有一些要詳加了解之要點。首先，此處所引的文字確實是根據 Lakoff and Johnson (1999) 而來，因為他們的書中某處寫到：“This chapter surveys some of the evidence for the view that reason is fundamentally embodied” (p. 17)。接著立即說：“These findings of cognitive science are profoundly disquieting in two respects. First, they tell us that human reason is a form of animal reason, a reason inextricably tied to our bodies and the peculiarities of our brains. Second, these results tell us that our bodies, brains, and interactions with our environment provide the mostly unconscious basis for our everyday metaphysics, that is our sense of what is real” (p. 17)。以上 Lakoff and Johnson (1999) 所說的第一點，可以支持本文作者所言的「『認知是成體的』意指認知的性質基本上反映了取決於身體與大腦的性質」確實在 Lakoff and Johnson (1999) 裡有提到，他們的確有對「成體的」一概念作此界定，並非作者所虛構。因此，作者將以上括號裡的文字溯源於他們，是有所據的。

在此要注意一點，「成體的」與「嵌入的」二概念，在本文作概念處理之前在國際學界似乎並無標準劃一的說法。由於 Brooks (1991) 首創使用此二術語，所以本文基本上以他的語詞為根據，將二者分列。在 Brooks 使用此二術語之後，它們的概念界定在不同文獻之間是有一些分歧的，各文獻有其個別的脈絡與注

別是身體與大腦在動物演化歷史與發展歷程裡所展現的性質，「認知能力是什麼」要取決於構成認知建築的物理性質與原理 (Brooks 1991)。此外，「認知是嵌入的」意指認知能力並不能獨立於生物

重，並非完全整齊一致的，例如 Brooks 把該二術語完全用在機器人研究的脈絡裡，而 Lakoff and Johnson(1999)把“embodied”主要放在語言研究的脈絡裡。至此尚無問題，但 Lakoff and Johnson(1999)重範疇、隱喻與身體的關係，而輕談“embedded”的內涵，甚至將此詞略去而把僅有的一點點內涵併入“embodied”之中，這樣「二詞內涵合併」的作法，在與其他人共用相同詞語之情況下，很可能會引起概念混淆，成為一個不必要的缺點。其他人對「成體的」與「嵌入的」此二詞的處理 (Brooks 1991, Varela *et al.* 1991, Clark 1997)，並不發生這樣的問題。儘管了解到這些，本文的目標並不是要去討論此二概念在諸文獻間的分歧與重合，而是要確立一個清楚一致而含蓋面廣的表述。

Lakoff and Johnson(1999)對「嵌入(embedded)」概念表達得並不是很清楚，所以本文在界定此概念時並沒有引他們。他們對「成體的」之概念界定是有其可取之處，所以本文引到他們；但是，基於諸文獻間對此二概念之表述並不整齊，本文必須引到最有力的出處，才能將此二概念表述清楚。他們兩人對「嵌入(embedded)」概念的著力太含混，事實上在 Lakoff and Johnson(1999)一書裡面根本就很難找到“embedded”這個字，而在提及關於「嵌入」之概念內涵時，大抵只是在著眼於「認知不能離開環境(Lakoff and Johnson 1999, p. 566)」這一點，但並沒有清楚地包含「嵌入」的一些重要內涵，如本文頁 139 所提到的：認知的「內部建築必須包含一些功能很簡單的機制——包括對實在環境的感應方式、活動的執行機構(actuators)，與對反應的內部控制——靠它們來運作持續而快速的『生物體與環境的互動』」，因此，Lakoff and Johnson(1999)對「嵌入的」之概念內涵的著墨可以說是輕描淡寫，缺乏有力的積極說明。在此情況下，本文為說明何謂「嵌入的」，不得不引其他更有力、清楚的文獻出處：Brooks (1991), Varela *et al.* (1991), Clark (1997)。本文作者並不是誤解 Lakoff and Johnson(1999)為完全不涉及「嵌入」的相關內涵，而是了解到他們對「嵌入的」之概念內涵的著力似乎過於輕淡、不深入重點，因此，本文在界定「嵌入」概念之時並沒有引 Lakoff and Johnson(1999)而引其他文獻，這應該是適當的作法。

依據以上所言，Lakoff and Johnson(1999)一書對“embodied”一詞之概念表述與上述其他人之界定有些不同。然而，鑑於 Lakoff and Johnson(1999)在與其他人用法相同之點上仍有一些可取之表述，因此，本文在界定「成體」之概念時只能取這個與其他人共同之點，而不提其殊異於他人的概念內涵。這樣做是著眼於避免他們所可能引起不必要的缺點，從而使本文對「成體的」與「嵌入的」此二概念之處理，能夠有清楚而一致表述。

體的活動而形成，不能在「生物體與環境的互動」開展之前就完全地形成於一組固定的表徵 (Brooks 1991, Varela *et al.* 1991, Clark 1997)，畢竟認知能力的複雜度是不甚可預測的，認知的精巧多樣要在實在環境裡運作才可以看得出來(這一點是 Varela *et al.* 1991 引 Merleau-Ponty [1963] 來詮釋理解能力與環境的根本關連)。雖然(實在的或機器人的)認知能力必然需要控制於內部建築，然而內部建築必須包含一些功能很簡單的機制——包括對實在環境的感應方式、活動的執行機構(actuators)與對反應的內部控制——靠它們來運作持續而快速的「生物體與環境的互動」。簡捷來說，「認知是境況性的」意指認知能力絕不能只是架設、履行(implemented)於大腦(或電腦)內部的一組抽象表徵以及表徵之間的關係，而是要取決於(實在或人工的)生物體組織與「(實在或人工的)生物體與環境的互動」。

本文可以被視為是對「認知如何可能是成體的與嵌入的」之問題的一個示範回答。前面提到生動機器人是「一種在實在環境裡(以別於模擬系統的實驗室環境、或只是虛擬實境)」、「表現出某種實在生物體為了在它們的棲息環境維繫生命而有的行為特徵」，就是在表明生動機器人所呈顯的認知性質是「成體的」與「嵌入的」，這是對認知「是什麼(what is)」之問題的回答。此外，生動機械論之為一機械論，是在回答「認知如何可能(how is it possible)是成體的與嵌入」的問題。因此，針對此問題，在傳統機械論難以提供解釋之情況下，本文是藉由解釋境況性認知之機制，來對認知的境況性本質作哲學思考。

總括來說，生動機械論的提出是個科際整合的研究，一般說來，它會令以下三方面的研究者感到有興趣：

1. 它將告訴哲學家(特別是機械論的研究者)，認知能力的環境適應性，不是服從於一組固定的原理，而是得自於一種

「生物體與環境互動」的過程——漸增式調適——本文要通過這個過程，來對「認知如何可能是境況性的（「成體的」與「嵌入的）」這個哲學問題，呈現一個解釋。

此外，有別於傳統機械論，對機制的表現不一定能夠「完全表現於」一組斷言式的(**assertive**)陳述，至少知覺的機制裡有著實用論(**pragmatics**)的向度：何種表徵將形成，仍要決定於(在環境裡何者較能產生)「使用(**use**)」上的優勢。

然後，對於科學家：

2. 生動機械論將告訴認知科學家及生動機器人 (**animat robots**)的研究者，行為適應(**behavioural adaptation**)既不單獨控制於表徵模型，也不單單是境況性活動所能夠解釋的，而是認知內、外控制交互運作的結果，而且本文將跨越匯勒與克拉克(1999)一步，「具體地」提出此交互運作的可能方式。
3. 生動機械論將告訴人工生命(**artificial life**)的研究者，行為適應之為一個行為顯型(**phenotype**)，並不來自任何生物學的或心理學的特徵(**trait**)，而得自於一種緊密頻繁的認知綜合(**synthesis**)：認知主體在與環境互動的過程中，所反復地推衍出來的結果。

參、「漸增式調適」：「重複綜合修正」與「漸增式表徵」——一個「主動知覺」的個案研究

生動機器人的架設原理是基於許多不同的方法論，所以我們沒有辦法一般性地說清楚以上八個面相。為此，還是進行個案研

究 (case study) 比較能把生動機械論說清楚。以下要進行的個案研究是主動知覺 (active perception) 研究，特別是主動視覺 (active vision) 研究，這是電腦視覺 (computer vision) 研究的一支。

為什麼要拿知覺來作為主要討論題材呢？這樣作似乎有一點奇怪，因為知覺是此領域內 (生動機器人研究) 研究較困難而成果少的一個主題 (Maes 1995)，而且，「典型的」複雜調適系統構成於「許多個體 (作用者)」在學習、發展或演化層次的聚集行為，而知覺系統的工作裡「似乎」並沒有許多單元個體，也不發生於學習、發展或演化層次。然而，這樣做 (拿知覺來作為主要討論題材) 是有道理的，本文主要的關注點在於認知主體在變動環境中的調適能力，主要是想解釋：認知主體如何巧妙變換運動的操作與知覺的控制，以完成其所欲的工作。知覺的機制特別可以說明在「工作」層次 (以別於學習、發展或演化層次) 的調適，知覺系統雖然因此不是「典型的」意義下的複雜調適系統，但是，一如本文要說明的，知覺系統仍然確實是構成於許多功能模組的生成行為。

一、定義「漸增式調適」之過程

為了說明知覺之為「複雜調適系統」的機制，本文要先提出以下兩個觀念：

甲、重複綜合修正 (recurrent synthesis and modification)

定義為，某系統 S 內計算模組 (modules) 在「(實在的或人工的) 生物體與環境的互動」之下作用的一系列過程，其中某模組 S_b 控制環境探測所得的輸出訊息，加入到該計算步驟時作內部推測所得到的期待訊息 (不管是量化的或表徵式的) 作綜合 (synthesis)，將綜合的結果詮釋為該步驟時該系統內部的知識綜合機制對於環境狀況的掌握或落差，以此綜合的結果為基礎來更新 (update)——維

持或修正——該系統自身下一步驟的運作取向(或移動方向),或該生物體 Sw 因而發出的肢體運動之方向,直到對 S 目標中的工作¹⁴ (task) 有著相對最佳可能性 (relatively optimized likelihood) 的解決 (resolution) ;

乙、漸增式表徵(incremental representations)

定義為,某系統計算結果所呈顯的表徵,其中這些表徵隨著
1. 「(實在的或人工的) 生物體與環境之互動」,與 2. 認知系統 S 的計算步驟之進行,而逐漸接近足以描述外在世界的景況。

基於以上兩個觀念,我們可以來定義一種調適過程:

丙、漸增式調適 (incremental adaptation) 是重複綜合修正的過程,其過程中產生漸增式表徵。

以上定義裡的「綜合」是某計算步驟時系統內之訊息建構 (construction) 與詮釋的作用,將系統模組作環境探測的輸出訊息與內部推測所得到的期待訊息,連合起來 (combine) 作考量。這樣的作用將由下一小節「主動知覺」的三個演算法來示範。

值得注意的是,漸增式調適系統產生三重作用 (effects): 該系統自身下一步的運作(或移動)、該系統所屬生物體因而發出的肢體運動以及認知的表徵。也就是說,生物體與環境的互動既不止於

¹⁴ 如果考慮等一一下要討論的「漸增式調適」之一般性定義,此處的“ S ”看來似乎是“ Sw ”的筆誤,但其實不是。主動知覺系統脈絡之下的「漸增式調適」定義裡的工作是指知覺工作,而不是指肢體運動的工作,也就是說,這樣的工作確實是屬於知覺系統 S ,而不是屬於生物體 Sw 。然而,在主動知覺的系統 S 裡,工作的相對最佳可能性,仍然是取決於生物體 Sw 之工作(也就是,肢體運動的工作)的相對最佳可能性。也就是說,在主動知覺脈絡之下定義「漸增式調適」時,「 S 之工作的相對最佳可能性」根本上依舊是訴諸於 Sw 之工作的相對最佳可能性,所以與「漸增式調適」的一般性定義實際上並沒有出入。

對肢體運動的控制，也不是只決定於表徵的計算。漸增式調適系統的內部控制，相對於以上三重作用，需要表徵知識、也需要境況性的探測，另外還需要調整系統自身的運作。而這樣三重的內部控制，是在生物體與環境的互動過程裡緊密重複的。可見，「內部控制」並不等於模型的建構，另外還要看模型、系統自身與身體三者在環境互動時的實際施展。

依據此一概念(漸增式調適)，本文接下來要論證：

1. 漸增式調適之過程可見於「主動知覺」系統。論證此點之後，「漸增式調適」的概念就不是個空的概念，而是個可以適用於**實際**架設的生動機器人系統之概念。
2. 出現漸增式調適過程的系統也是複雜調適系統。論證此點之後，在解釋生動機器人機制的時候，就可以引用「複雜調適系統」的種種理論特性(例如「生成」以及其他複雜調適系統的互動方式)，因而豐富了對漸增式調適系統的瞭解。而且，漸增式調適的過程，**就可以**因此被視為是複雜調適系統的一種可能的呈現方式。舉例來說，等一下會討論到，生命根源的形成方式可被視為是複雜調適系統，因此「漸增式調適」可作為思考生命根源的形成的一種**可能**機制。

此二項論證完成後，就可以算是證成了生動機械論的一個重要的論點：生動機器人(注意，他們是複雜調適系統)之所以能夠執行工作調整以適應複雜而變動的環境，**可以是**解釋「複雜調適系統」的行為生成的一種方式。因此，當我們要理解動物之複雜調適系統，我們就可以透過「漸增式調適」的概念架構，來對所涉行為生成的開展方式作進一步的解釋。依據「漸增式調適」的概念，我將說明生物體的行爲適應(**behavioural adaptation**)既不單

獨控制於表徵模型、也不單單是境況性活動所能夠解釋的，而是認知內外控制交互運作的結果。就此一論點，我期望超越匯勒與克拉克 (1999) 所提出的「基因式表徵」之觀念，捨類比式的曉喻而就運作式的界定，因而**具體地**提出此交互運作的一種可能方式。

在討論「主動知覺」之前，先來討論「漸增式調適」之概念如何應用到生命根源的形成，藉此對「漸增式調適」的概念有更清楚的了解。

二、為其他「複雜調適系統」定義脈絡適當的「漸增式調適」的過程

爲了把「漸增式調適」的概念應用到「主動知覺」以外的某種「複雜調適系統」，此概念可以先一般化，然後再依據該「複雜調適系統」的脈絡，來建構該脈絡之下的一個類似於「漸增式調適」的概念。

舉例來說，自動催化循環 (autocatalytic cycle) (Morán *et al.* 1997) 是一個原始的生命系統，它也是個複雜調適系統 (Kauffman 1995, Morán *et al.* 1997)，爲了將「漸增式調適」的概念應用到這樣的脈絡裡，可以先建構一個**一般化的**「漸增式調適」之概念，如下：

(一) 定義一般化的「漸增式調適」之過程

(甲 0)¹⁵ 一般化的重複綜合修正：

定義爲，某系統 S 內之次系統 Sb 在「(實在的或人工的) 生物

¹⁵ 關於標號，在「(甲 0)」、「(乙 0)」、「(丙 0)」之中，“0”用來示意**一般化的**定義。對照之下，在「主動知覺」之外**其他**脈絡的「漸增式調適」之定義，可以用「(甲 2)」、「(乙 2)」、「(丙 2)」來標明。在此情況下，前面定義「主動知覺」之「漸增式調適」概念裡，「甲」、「乙」、「丙」等三點可以被看成是「(甲 1)」、「(乙 1)」、「(丙 1)」。

體與環境的互動」之下作用的一系列過程，其中該次系統持續有所生產，加入到整個系統 S ，與 S 內之其它因素相互作用影響，然後以此一再更新的系統狀況為基礎，重新來進行以上過程；這樣的過程進行到某個階段時，整個系統 S 產生一些作用，加入到高一層次的系統 S_w 而產生作用影響。以上過程進行到 S_w 所產生作用具有相對最佳可能性 (**relatively optimized likelihood**) 時，乃告一段落。

(乙 0) 漸增式產品 (incremental products) :

定義為，系統 S 內之因素相互作用影響所呈顯的產品 (**products**)，其中這些產品隨著：

- (1) 「(實在的或人工的)生物體與環境之互動」，與
 - (2) S 內之因素相互作用影響，而使 S 之主題逐漸更形顯著。
- 基於以上兩個觀念，我們可以來定義一種漸增式調適的過程：

(丙 0) 漸增式調適 (incremental adaptation) 是一般化的重複綜合修正的過程，其過程中產生漸增式產品。

在以上定義裡，系統 S 不一定是一個認知層面的系統，所以不必然要涉及表徵，這一點可以從(乙 0)、(乙 1)與(乙 2)裡看出來。在(乙 0)裡所言的「漸增式產品」是什麼，取決於系統 S 的脈絡，在「主動知覺」的脈絡裡，「產品」指表徵；對照之下，在「生命根源」脈絡裡，「產品」則是指新陳代謝網 S_b 所呈顯的生物體組織功能，詳細的定義形構見以下討論。

(二) 定義「生命根源」脈絡下的「漸增式調適」過程

依據以上一般化的「漸增式調適」之定義，在此可以來定義適用於「生命根源」脈絡裡的「漸增式調適」之概念。

(甲 2) 重複維繫修正(recurrent maintenance and modification)：

定義為，構成某生命組織系統 *S* 的新陳代謝網 (metabolic networks, 或 metabolic nets) *S_b*，經過「(實在的或人工的)生物體與環境的互動」的一系列過程，¹⁶ 其中某新陳代謝網所產生的作用，¹⁷ 貢獻到該生命組織系統 *S* 的成員製造、修復或發展，使整體系統 *S_w* 之生命現象能夠穩定維繫 (maintain) 下去，以此結果為基礎來更新 (update)——維持或修正——使該系統 *S_w* 自身在往後新陳代謝的過程裡，有著相對最佳可能性 (relatively optimized likelihood) 的生存條件；

(乙 2) 漸增式組織功能(incremental organismic functions)：

定義為，某新陳代謝網 *S_b* 所呈顯的生物體組織功能 (organismic functions)，¹⁸ 其中這些功能隨著：(1)「(實在的或人工的)生物體與環境之互動」，與(2)新陳代謝網 *S_b* 內代謝步驟之進行，而逐漸趨於精緻化 (elaborate)，以使 *S_w* 在其生存環境中呈顯更多有適應力的生命現象。

基於以上 (甲 2)、(乙 2) 兩個觀念，我們可以來定義一種漸增式調適的過程：

(丙 2) 漸增式調適(incremental adaptation)是重複維繫修正的過程，其過程中產生漸增式組織功能。

¹⁶ 舉例來說，新陳代謝網必須在變動的環境裡維持營養的吸取，以持續生產維繫生命系統所需的成分組織，並且要持續生產維繫組織的修復。

¹⁷ 一個新陳代謝網所產生的作用，可能是組織的修復，也可能是催化劑或酵素的製造。

¹⁸ 舉例來說，自動催化循環 (autocatalytic cycle) 是一種原始的生命體，所以它可以被視為是生物體組織。它有以下兩個功能：催化 (autocatalysis)、修復 (re-paration) (Morán *et al.* 1997)。

以上定義裡，對應於(甲 1)定義裡的「綜合」，是生命組織系統的維繫，該生命組織系統的成員製造、修復、或發展，使該系統得以的內部構造，能夠支持其自我維持，以適應變動的環境，並求自我發展，提高生存的優勢。

以上討論表明了一點，當生命根源的形成被放在複雜調適系統的脈絡裡來思考，一個適合於它的「漸增式調適」定義，可以從一般化的「漸增式調適」之定義裡轉化出來，用以描繪思考生命根源形成的一個可能的機制。因此，「漸增式調適」的概念可以在某個層面幫助我們了解「複雜調適系統」。^{19 20}

¹⁹ 針對這一節，也許有讀者會疑惑：如果「漸增式調適」之概念可以應用到認知的脈絡，然後又應用到生命根源的脈絡裡，這樣的論述轉折不就等於放棄解釋表徵，在認知表徵的論述脈絡下也就等於放棄了解釋認知，這樣很嚴重，因為這樣就等於放棄本文的論述目標了。其實，這樣的評斷未見充分理據之支持，基本上，本文在本節之前已經完全指出「漸增式調適」之過程是如何應用到認知表徵，「漸增式調適」可以解釋認知表徵之要點已經確立，而且除了在本小節與本文其他部分完全區隔開來之情況下談到生物體組織之外，本文自始至終都是在貫徹以「漸增式調適」論述認知表徵的目標，因此本文的論述目標絕不致於被放棄掉。

在本小節一開始，本文先定義**一般化的**「漸增式調適」(定義丙 0)，這並不相同於前面所提(形諸認知表徵之詞)的「漸增式調適」之定義(丙 1)。基本上，根據這個一般化的定義(丙 0)，可以應用到與丙 1 不同的脈絡，例如在生物體組織功能脈絡之下可以來定義其「漸增式調適」(丙 2)的意義，丙 2 是由丙 0 所具體化而來，但絕不影響到可以**分別**討論丙 2 與丙 1 的可能性，丙 2 與丙 1 之間可以是完全互相獨立的議題。事實上，本文點出此一定義推廣的可能性(從丙 1 推廣到丙 0，再把丙 0 應用到丙 2)，並未再就此一個別可能性(丙 2)繼續討論，而是將之留給將來的討論，從第三節起本文又完全回到定義丙 1 認知表徵的範圍來，因此，基於討論定義丙 1 之繼續下去，本文論述認知表徵的目標事實上根本沒有被放棄掉。

也許有讀者要質疑：本文只說在主動知覺的脈絡裡，產品指表徵，作者必須解釋為何在主動知覺的脈絡裡，產品指表徵，不能只說在該脈絡裡指表徵。這樣的質疑可以簡單回應如下。這裡涉及一個從一般化定義到分別定義的問題，依據前面所言，丙 0 是個一般化的定義，它可以分別落到兩個獨立的脈絡裡去，分別有其定義(例如丙 1 與丙 2)，從而作不同的討論，這一點應是不難理解。本文所言的漸增式「產品」是出現在定義丙 0，它是一個一般化的定義，當它落到兩個

三、以「主動知覺」的演算法來示範「漸增式調適」之過程

「主動知覺」是一個興起於一九八八年，關於知覺計算的典範，主要的建立者是阿羅伊模等 (Aloimonos *et al.* 1988)，拜姬 (Bajcsy 1988)，巴拉德 (Ballard 1991)，以及巴拉德等 (Ballard *et al.* 1993)。他們的主要論點在於反對碼爾 (Marr 1982) 之視覺計算理論，他們主張知覺的計算不是將從感官 (或感應器 [sensor]) 得到的訊息加以**全面精巧化 (elaboration)** 以完全重建 (**reconstruct**) 外在世界的情況，知覺計算不是要「被動地」萃取一切可以推得的視覺特徵 (**features**)；相反的，知覺計算是要**選擇性地求取**足以完成**所涉工作 (task)**的特徵，甚至於必須移動感官的方位，以「主動」地求取工作所需的訊息，進而支持知覺與肢體的靈活調適活動，使生物體更容易通過天擇的考驗。他們也指出，這不只是一項關於電腦計算策略的宣言，而是有心理學實驗為基礎的，例如視動、與頭、耳朵的移位，以得到所需的訊息 (Yarbus 1967; Robinson

獨立的脈絡裡的時候，就可以有兩個獨立的主題分別作討論。個別來說，丙 1 的脈絡是主動知覺的認知系統，而不是生物體組織，所以討論認知表徵，而不討論丙 2 脈絡之下的生物體組織功能，這是一個具體的討論主題，只要從一般化的定義到分別的定義是可以構想的(事實上，從丙 1 推廣到丙 0，再把丙 0 應用到丙 2，就是這樣的概念設計)，在主動知覺認知系統之脈絡下，漸增式「產品」指到**表徵**，明顯地是非常切合丙 1 定義(以別於丙 2 定義)之論題，兩種脈絡之間應是很清楚可以分別。

²⁰或許有讀者會有疑問：本文所描述的例子基本上也可以從「傳統」的認知研究來解讀，如果所言「傳統」是指傳統人工智慧，以及不強調境況性的連結論，那麼本文所提的三個例子的建築明顯地是超出了傳統人工智慧建立資料庫再加以蒐尋方法論，而且剛好都是在強調境況性，理解它們的論述難以得自於「傳統」的認知研究，也是因為這樣本文提出這些例子來。

1968, 1987)。因此他們顯示證據來主張，對知覺能力的理解要透過此一新的計算典範。

本文提出生動機械論的目的，不是要為以上的計算典範作哲學上的背書，而是要以主動知覺研究的架設 (**implementation**) 成果為證據，來說明知覺所涉及的「生物體與環境互動」之過程，特別是要以主動知覺研究裡一些重要的演算法為示範 (**demonstration**)，來證實上面所提到「漸增式調適」過程之存在，並進一步依此概念(「漸增式調適」)來解釋主動知覺為何能夠支持(上一段提到的)「知覺與肢體的靈活調適活動」。接下來，本文將詳細討論三個主動知覺研究的架設成果——視動的注意力控制、卡曼濾器與笛氏自動車——以其演算法為根據來支持上面所提「漸增式調適(過程與系統)」的概念：

(一) 視動的注意力控制

人類的凝視控制 (**gaze control**) 系統之中有一重要的次系統是視動的注意力控制 (**attentive control of saccadic movements**):²¹ 一個注意力的控制系統，其功能在於引導視網膜的中央小窩 (**fovea**)，對向視域 (**visual field**) 裡值得注意之性質。由於此中央小窩具有特別高的解析度 (**resolution**)，人的視覺才能夠具有相當足夠的清晰度。但由於中央小窩只佔視網膜極小部分的面積，所以眼球必須快速、切重要點地，且與計算流程配合緊密地移動，才能適應環境的高度變動性，而在極短時間裡掌握住外在世界變動的狀況，進行能夠及時作出反應行動，來贏取生存的優勢 (**fitness**)。

²¹ 凝視控制由六個次系統，依從三階層 (**three-layered hierarchy**) 所組成，分別是：第一層，對光圈 (**appropriate aperture**)、對焦 (**focus**)；第二層，雙眼會合 (**binocular vergence**)；第三層，視動的注意力控制、追逐運動與視覺追蹤 (**tracking**)。詳細討論見於 Liu (1998)，第三、五章。

這就有賴於眼球經常性的快速運動，²² 以及視動注意力之快而有效率的控制。

眼球經常性的快速運動是一個生理的反射性動作，但是，視動的注意力控制仍有賴認知層次的計算。事實上，視動所涉及的注意力控制之過程，如今已成為研究視覺推論過程的重要的線索。雖然視動注意力控制的心理學研究早在雅步思 (Yarbus 1967)、羅賓森 (Robinson 1968 and 1987)，但是其電腦模擬晚至九〇年代。例如，克拉與法爾里 (Clark and Ferrier 1992) 把視域 (visual field) 裡的一些基本性質 (primitives) 賦予加權 (weights)，並排以秩序，稱這些性質為「顯著性質 (saliency)」，而將其秩序理解為一個在個別視動開始之前即已存在的「顯著性質之地圖 (saliency map)」。在視覺活動初開始時，注意力尚未有運作的起點，眼球活動隨意掃過視域，如果沒有已經要探究的主題此時可推出，一個在此主題之「脈絡」之下很快可以大致決定出視域裡「各個顯著性質之加權總和為最高」的某處，然後由此處此時開始注意力的控制過程。

值得注意的是，探究一個主題(例如，視域裡的臉是誰?)可被視為是一個工作 (task)，其執行要受環境裡一定實在時間之限制 (real-time constraint)。如果探究一個主題是視域裡的掠食者 (predators) 是誰，由於此工作關涉到天擇的緊迫壓力，那麼，相對於此工作的執行時間就會很短。

注意力的控制過程可說是個反饋控制 (feedback control)，有其針對探究主題的推論過程 (Clark and Ferrier 1992)，依於「顯著性質之地圖」所示的秩序而進行。值得注意的是，視動的過程不是由此「地圖」所預先 (在個別視動開始之前) 完全決定的。反饋控

²² 事實上，人的視動平均每秒 4-5 次。

制之規則可描述如下：

- (a) 首先，給予一個探究主題 S ，即決定一個工作 K ，及其相對的時間限制 T ；
- (b) 於某時刻 $t(0)$ ，反饋控制推論 $l(1)$ 處的預期性質為 $a(1)$ ，於是中央小窩移往該處(作一次視動！)；
- (c) 在 $l(i)$ 處接到訊息 $f(i)$ ，由反饋控制先依據 $f(i)$ 作出一個暫時的視覺表徵 $r(i)$ 。然後由反饋控制作 $f(i)$ 與預期性質 $a(i)$ 的比較，依其落差 $e(i)$ 來「決定」²³ 視動控制接下來所期待「弄清楚事實狀況」的部位 $l(i+1)$ ，以及在彼所預期的性質 $a(i+1)$ ，於是在 $t(i+1)$ 時刻視動導向 $l(i+1)$ (又作了一次視動！)。
- (d) 在 $l(i+1)$ 處，執行(c)的步驟，反覆進行，直到該探究主題 S 已經獲得一個足以滿足的答案、或時間限制 T 到了。此時的視覺表徵 r 即是經驗的視覺內容；而且，此時視覺系統可以針對工作 K 而發出一個身體(或肢體)的行動(例如，以一定的方向逃離所發現的掠食者)。

注意力的控制過程，由於考慮現實環境裡的天擇緊迫壓力，經常**不需要**得到一個**全面**精巧化的表徵，計算過程只進行到取得一個**相對**最佳可能性的解決。畢竟，以上的反饋控制顯示，推演表徵的計算是附從於所涉之探究主題，而以相對地滿足工作為其首要(**primary**)考量，至於外在世界究竟是什麼的問題，反而是次要的(**secondary**)的考量。值得注意的是，這樣的首要—次要的搭配出現在**知覺**的領域——對知覺來說，控制肢體**運動**居然比**描述**外在世界來得更重要的！這個道理可以用一句話簡單地點出：「生

²³ 注意，這是一個「局部(local)」層次的決定，不是傳統機械論所言高至行為層次的決定性。

存比理解來得實在，回應挑戰比描述狀況更加重要」。

在此我們可以來顯示，「漸增式調適」之概念確有落實於「注意力控制」之過程裡。在以上(a)到(d)的反饋控制過程裡，(b)、(d)示範了「重複綜合修正」的過程，其中訊息綜合表現於比較(環境探測訊息與預期訊息)以及「趨向較少落差」的推論，而視覺表徵 $r(i)$ 示範了「漸增式表徵」。因此，整個過程是個「漸增式調適」過程。由此可以說「視動的注意力控制」過程是個「漸增式調適」系統。

值得一提的是，在(c)步驟裡，根據落差 $r(i)$ 來決定部位 $l(i+1)$ 以及在彼的預期性質 $a(i+1)$ ，是個在「局部(local)」層次的決定過程，它是自主的而且也是詮釋性的，如果在這一點有什麼「智慧」可言，那是由於「顯著性質之地圖」依據探究的主題之「脈絡」所可以作的考量。這樣的「智慧」在視動之先即已先驗(a priori)地存在著。其根源想必是在物種的演化過程裡，在生物體與環境的互動過程逐漸「內化、固定化」為生化(biochemical)形式的，那是本文之外一個有趣的後續研究題目。²⁴

(二) 卡曼濾器

卡曼濾器(Kalman filter)是個模擬視覺追蹤(tracking)的重要工具，藉之可以從感應器(sensor)中的視訊與種種雜質中，形構出對象物體的形狀。可想而知的，這樣的形構過程需要推論以及對外在世界的知識，作為推論的根據。卡曼濾器的基本演算法可以描述如下：

²⁴ 舉個例子，原生鞭毛生物 某種藻類 的眼狀斑點(eyespot)及其控制的趨光性(phototaxis)活動(see Dolge, J. 1991. "Photosensory systems in eukaryotic algae" p. 325, in Evolution of the eye and visual system, edited by R. Gregory and J. Cronly-Dillon, pp. 323-340)，是個好題材，而且這項研究可以在人工生命研究裡作為生物組織與認知能力之間的橋樑。

$$\hat{\mathbf{a}}_{k+1} = \hat{\mathbf{a}}_k + (\mathbf{K}_k \cdot \mathbf{q}_k)$$

其中，

$\hat{\mathbf{a}}_{k+1}$ 是個向量(vector)，代表第 $k+1$ 步驟對計算過程之中外在世界的狀況(例如，一個彈性形狀〔elastic shape〕)所作的估計值；

\mathbf{K}_k 是個加權矩陣 (weighted matrix)，代表「知識得著 (knowledge gain)」，也就是陳述外在世界狀況的「命題性因素 (propositionality factor)」 (Haykin 1995; Ayache 1991, p. 178)；關於 \mathbf{K}_k 的選取，原則上是要壓低 (minimize) k 估計狀態與期待之誤差 (Gelb 1974)。

\mathbf{q}_k 是輸入訊息的創新值 (innovation)。

從以上演算法可以看出，卡曼濾器是個遞歸 (recursive) 的過程，其前步驟的計算是計算後步驟的基礎，所以視覺追蹤的運動控制是逐步完成的 (stepwise)，而且表徵的形成是累進漸進顯明的，所形成的表徵也就是「漸增式表徵」了。此外，在此遞歸過程裡，於第 k 步驟時，控制環境探測所得的輸出訊息 \mathbf{q}_k (由感應器傳來的訊息)，加入考慮該計算步驟 k 時內部系統推測外在世界狀況所得到的期待訊息 \mathbf{K}_k (此項訊息是量化的，但在「命題性因素」的關連之下，也可以被視為是表徵式的)，得到(可說是「調適出」)一個自身系統的運作取向——系統藉以預期外在世界狀況的新(與 $k-1$ 步驟時的 \mathbf{K}_{k-1} 不同)估計方式 \mathbf{K}_k ——憑著它來計算外在的狀況 ($\mathbf{K}_k \cdot \mathbf{q}_k$)，以此為依據把對外表徵由 $\hat{\mathbf{a}}_k$ 修正為 $\hat{\mathbf{a}}_{k+1}$ 。這樣一直下去直到取得一個相對最佳可能性的解決，所以 $\hat{\mathbf{a}}_{k+1}$ 不但是內部控制調適的結果，也是一個漸增式表徵。依此而言，卡曼濾器所模擬的視覺追蹤過程是個「漸增式調適」過程，卡曼濾器所控制的是個漸增式調適系統。

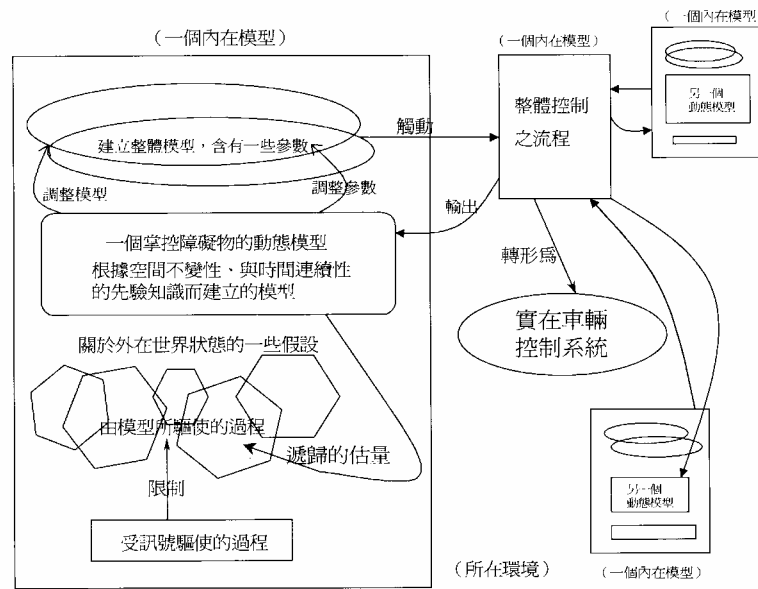
從更細部地來看，個別步驟時 \mathbf{K}_k 之決定方式很是重要，因為

它運作了訊息的綜合。在 k 步驟時對 K_k 之決定，是卡曼濾器在 k 步驟時計算過程的運作取向，它是建基於前一步驟 $k-1$ 時之表徵 \hat{a}_{k-1} ，再加入考慮該計算步驟 k 時環境探測得來的訊息 q_k 以及內部系統處理 q_k 的相對最一致的方式(例如，先驗地要求要壓低 k 時的估計狀態與 $k-1$ 步驟時推得期待之間的誤差)。由這樣的綜合方式可以看出，前一步驟的結果影響到下一步驟的計算過程，整個計算過程繼續進行，直到獲得一個關於外在世界狀況之相對最佳可能性的解決。由此可以看出，卡曼濾器維繫更新的機制對環境有調適性的回應。

(三) 笛氏自動車

笛氏自動車 (Dickmanns' car) 的實驗成果呈現於 1992 年 (Dickmanns 1992)，其設計目的是以景象理解 (scene understanding) 來助成陸地上的導航 (navigation) 活動。景象理解是個高層的知覺過程，它負責認出知覺對象 (perceptual recognition) 的種種性質，這對導航來說是必要的，因為如果沒有它 (景象理解) 就不能識別 (identify) 環境的種種狀況，也就不能「導」航了。笛氏自動車的導航系統可以識別的交通特徵包括車道 (traffic lanes)、路邊 (edge of the road)、路面狀況、其他車輛以及障礙物。

笛氏自動車的認知「工作」就是導航，執行此工作使笛氏自動車「演出」了種種的技能，包括保持在路線上、為路面彎曲而作的速度調整、夜行、發現障礙物、在障礙物之前停止、隨行他車 (convoying)、在一部車之後停一下然後再開車，以及依駕駛命令而作車道變換以閃避他車。這些技能是控制於並行的 (parallel) 多重 (multiple) 知覺過程之互動，其設計可見於下頁之圖。每一過程支持於一個知覺的次系統，他們個別是一個動態系統 (dynamical system)，每兩個次系統之間有週而復始的雙向影響，而諸次系統



笛氏自動車的設計

笛氏自動車的每一個次系統內部(例如,辨識障礙物的系統),從它的設計可以看出,具有兩個主要部分:一個(關於外在障礙物的)整體模型(a generic model),以及關於外在世界情況的一些候選的假設(candidate hypotheses of external states)。這些假設的建立是基於一個動態的模型(dynamical model),它是由先驗知識(a priori knowledge)所構成,例如:關於障礙物本身的空間不變性(spatial invariance),與障礙物運動的歷時連續性(temporal continuity)。這個動態的模型可以大幅調整該整體模型或只小幅調整其參數(parameters)。以上假設,一方面受訊號驅使的過程(signal driven processes)所限制(constrain),在另一方面又受這個動態模型以遞歸的估量(recursive estimation)的過程來支持建構,這是由模型所驅使的過程(model driven processes)。每一過程對應於一個知覺的次系統,他們個別是一個動態系統(dynamical system),代表笛氏自動車的一個內部模型(an internal model),於兩個次系統之間有週而復始觸動與輸出的雙向影響(trigger and output),而諸次系統共同連結於一個在笛氏自動車內部作整體控制之流程(generic control procedures),此流程可以轉形為(transform into)實在車輛控制系統(real vehicular control systems)裡的流程。(此圖由 Liu [1998] 頁 96 重畫而來,由本文作者中譯,原圖之英文附於括號內作對照。)

共同連結於一個整體控制 (**generic control**) 之運作，來操縱車輛的駕駛。

笛氏自動車的每一個次系統內部(例如，辨識障礙物之系統)，從它的設計可以看出，具有兩個主要部分：關於外在世界狀況的一些假設，以及一個(關於外在障礙物的)整體模型 (**generic model**)。這些假設的形成受到外來視覺訊號的形塑 (**constrained**)，而且得助於一些先驗知識，例如關於物體在空間裡的不變性質，以及物體運動 (**motion**) 的時間連續性，以簡化假設形成與選擇的計算流程，使在實在時間限制之下，仍然能夠儘速繼續推論出一個適當的(關於障礙物的)整體模型，以及此模型相關的一些參數 (**parameters**)。這是視覺過程之所以能夠形成「主動」能力的計算方式，笛氏 (**Dickmanns**) 視這些先驗知識的參與為視覺計算在 **3-D** 形狀之外的第 **4** 向度。這第 **4** 向度之所以有別於前 **3** 個向度，是由於它不是個由外而內接受、轉化訊息的過程，而是個由內而外引導、重塑訊息的過程。

上述之假設與「形成中的整體模型」之間，一直持續在互動著，而訊息綜合就表現於這樣的互動過程裡，它的互動方式依從於個別動態系統內諸參數之間的緊密聯結 (**tight coupling**)。²⁵ 一方面(由外而內的方向)，由於外在世界的狀況持續在變化中，所以對外狀況的假設也跟著在變，形成整個動態系統持續的形塑因素 (**constraints**)，然後，整體模型的參數因此被調整，甚至整體模型自身也會被調整，所以甚至可能會有不同的模型產生。而在另一方面(由內而外的方向)，由於笛氏自動車的計算採用卡曼濾器來維繫單元次系統的追蹤活動，所以，產生的模型回過來當作估計外界狀況的基礎，持續影響形成中的假設。

²⁵ 關於個別動態系統內諸參數之間緊密聯結的方式，請參考 van Gelder and Port (1995) 以及 van Gelder (to appear)，裡面有詳細的討論。

以上互動的兩個方向(由外而內,與由內而外)是持續循環地相互影響的,而整體系統與個別次系統,在採用卡曼濾器之外仍有「漸增式調適」的過程。兩個方面的互動過程個別都在進行重複的訊息綜合與修正,因此對外在狀況的假設修正了,整體模型也跟著在持續修正著。這是一個次系統之內的漸增式調適過程。諸次系統之間也有個漸增式調適的過程。這可見於以上曾提過的過程:兩個個別次系統之間週而復始的雙向影響,形成個別次系統內部修正的影響力,而諸次系統共同連結於一個整體的控制運作,來操縱車輛的駕駛,而這個整體的控制運作與各個個別次系統之間也有雙向持續的調整過程。

笛氏自動車對生動機械論的意義不止於以上所言,它的演算法還指點我們一種多重整合的方式:多元(次)系統之間的整合並不必訴諸於一個廣包及於諸能力的(Einstein 式的)大理論,相反的,整合可以更實際地得自於諸次系統之間的互相調整,與各個次系統內部循環持續的調整修正,這樣繁複的過程可以簡單地想成是在作互相協調(coordination)。因此在此本文可以宣稱,整合可以來自於所牽涉系統之間,以及個別系統內部諸組成單元之間的互相協調。

以上討論中,三種主動知覺的系統,都經過與環境密切而頻繁的互動,而分別地以互動的結果來呈顯其個別的調適行為。據此,我們可以用「漸增式調適」的概念來進一步理解「複雜調適系統」的運作原理。

肆、生動機械論的意涵

一、要點

依據以上「漸增式調適」的概念,我們可以整理出一些要點,

來理解生動機器人之機制，如下所述，藉之可以在直覺的基礎上建立一個關於「複雜調適系統」的機械論。

1. 相對最佳化的調適：某個體之調適能力，看似奇妙，其實是表現於其認知過程進行一系列步驟快速而有效率的修正，以致於他能執行目標中的工作到一定程度的滿意，也就是說，他因此獲得認知控制的相對最佳化 (**relative optimization**)。
2. 在與環境互動之下作有效率的修正快速而有效率的修正依賴兩方面的配合：一方面，該個體的認知建築必須有某些模組在進行持續而快速的環境探測；另一方面，該認知建築必須在作環境探測的每一計算步驟時，同時也作內部推測。
3. 內、外訊息的綜合：在(2)的基礎之下，該認知建築必須進一步將這內、外兩方面各自得到的訊息作綜合 (**synthesis**)。綜合的結果可被理解為**該步驟時**該系統內部的知識綜合機制對於環境狀況的掌握或落差。以此綜合的結果為基礎來引導該認知機制下一步驟的運作過程。此綜合是認知建築之所以有調適性的一個重要環節，憑著它，認知個體才能夠正確地回應環境的變遷與挑戰。
4. 綜合的樣式：以上提到的訊息綜合有各種不同的方式，這代表認知建築有不同的「對策」來回應環境的多樣性質。舉例來說，本文所示範主動知覺的三種演算法即代表回應環境的三樣「對策」。其一，視動的注意力控制裡，訊息綜合表現於比較(環境探測訊息與預期訊息)以及(趨向「較少落差」的)推論。其二，在卡曼濾器裡，訊息綜合表現於個別步驟時 K_k 之決定方式，它是建基於前一步驟 $k-1$ 時之表徵 \hat{a}_{k-1} ，以及步驟 k 時環境探測所得的訊息 q_k ，再加

以考慮內部系統處理 q_k 的相對最一致的方式。其三，在笛氏自動車的演算法裡，訊息綜合表現於個別動態系統內諸參數之間的緊密聯結，外在世界持續變化中的狀況牽動假設的形塑，進而使得整體模型的參數被調整；此外，單元次系統的追蹤活動透過卡曼濾器來維繫，因而產生的模型回過來持續影響上述形成中的假設。

多樣的複雜調適系統可以展現多樣精彩的綜合方式，使得這類系統之調適能力基本上是多樣態的，生物體的認知建築對環境變遷與挑戰的回應，也因此而擁有繽紛的「對策」。

5. 得助於先驗知識：生物體面對環境時，能夠在工作層次展現恰如個別工作所需的「對策」，是得助於生物體之認知建築所具有「特定於工作 (task-specific)」的計算模組。它們是先驗知識，也就是說認知心絕不是個白板 (*tabula rasa*)。關於生物體的認知建築如何具有這樣的知識，必然是來自於演化或是在發展過程中內生的 (*endogenous*) (如果我們不預設創造的話)，這是一個關涉到心智來源，然而在「工作層次」以外的問題，不在本文的範圍內，但是非常值得作為一個未來的研究主題。

以上五個要點簡捷地勾勒出「漸增式調適」的概念，它們顯示了生動機器人以及所有實在生物體的生動機制，據之可以知道認知心的調適能力並不是傳統「時鐘」隱喻所能說明的。這五個要點，環繞在「認知建築與環境的互動過程」之主題，開展了一個全新的機械論，作為構思「複雜調適系統」的一個理論原型，特別是適合於思考生動機制。

二、不是專屬「主動」能力的生動機制

本文的主題是**生動機械論**，不止是「主動的」生動機械論。雖然主動知覺的個案研究示範了生動機器人的演算法，因此**有助於理解生動機器人的機制**，但是讀者可能會有一個疑慮：是否本文所談到的機制只是特別為解釋「主動能力」而量身裁製的，其實是並適合其他生動機器人的機制？

這個問題的答案是部分肯定與部分否定的。先說否定，本文只討論主動知覺的演算法，而沒有考慮其他生動機器人之演算法，這是事實，更別說討論到其他「複雜調適系統」了。因此，很自然地會讓人認為「漸增式調適」的概念只適合主動知覺。在此考慮之下，本文必須要聲明，文中只提出**一種**生動機制的解釋；也就是說，或許有一些生動機器人「在工作層次」調適的機制並沒有被「漸增式調適」的概念所解釋到。

然而，以上問題的答案很可能是肯定的，因為「漸增式調適」的概念可能事實上是高度適用於「主動知覺」之外的生動機器人。要說明這一點，嚴格說必須要另外作關於生動機器人一系列演算法的比較研究。但是，在此可以簡捷地說，在「漸增式調適」過程裡，系統探測環境所獲得的訊息，與內部推測的期待訊息作「綜合」，這一考慮本來就具有高度的包容性，本文所舉三種演算法只對應到其中三種綜合方式，其他的綜合方式仍多有可能，它們能夠廣泛地適合於各種生動機器人之機制，以及實在生物體的生動機制。此外，在「漸增式調適」之概念裡，對於計算過程之控制其實只是作很鬆的界定，本文只提到要依據訊息綜合的結果來更新該系統自身下一步驟的**運作取向**，而沒有詳細限定是什麼樣的運作，它可以是要改變感應器的移動方向、也可能是要決定系統內部注意力的焦點，因此「漸增式調適」之概念具有高度的容受力，容易廣泛地應用到各種生動機制。最重要的是「漸增式調

適」概念裡所嚴格界定的三種特徵——「生物體與環境的互動」、修正計算的過程，以及尋求**相對**的最佳可能性——可以被看成是高度應用於所有的生動機器人，以及所有實在生物體的生動機制。因此，本文所提出「漸增式調適」概念，很可以用來建立一個適用於所有生動機制的機械論。

伍、內部與外部認知

內部與外部認知的關係，是匯勒與克拉克 (1999) 的文章主題，這層關係可根據本文所討論「漸增式調適」的概念，而獲得機械論觀點的釐清。這可分成以下兩個層面的釐清：

一、何謂 (what is) 內部認知？何謂外部認知？

如果依據認知科學目前的幾個典範，很直接的會把內部認知等同於內在的世界模型，用來表徵外在世界；對照之下，外部認知會被等同於布如克斯式的 (Brooksian) (或說是行為主義的、反應式的) 認知建築，如自主作用者 (autonomous agents) 的設計及架設所示。這樣的看法似乎把認知能力歸於兩極——世界模型 vs. 反應式控制——而忽略了兩者的關連，然而這兩極之間的關連其實才是「內外認知」問題焦點。

依據本文所討論主動知覺的幾個演算法，內部認知不限於外在世界的表徵，還有漸增式表徵的建立過程，包括各系統所示之重複綜合修正的過程，世界的表徵只是其中的一環。這樣的過程大致是對應到機器人研究裡的「開發」過程。值得注意的是，重複綜合修正的過程是**爲了**控制下一步驟的探測活動或引導一定取向的肢體的活動(例如控制肢體以某方向與速度來躲避掠食者)，也就是說，內部認知裡有重要的考量是在於外部認知的活動。

在另一方面，外部認知不只是行為主義的、反應式的控制，例如「遇障礙物則折回」，此外還應包括布如克斯式機器人之納入式建築裡的上層控制(例如「三層控制」裡的最高層——整合)、對行動模組的能量控制(Maes 1990)，以及視動的注意力控制等對探測活動的直接控制，²⁶ 這樣的控制可以被視為是內部的認知控制。事實上，Maes (1990)就認為她所談的「能量散佈」是一內部模型，而注意力控制一向被看成是內部的認知能力。可見，外部認知的直接控制仍需要內部認知能力的參與。

二、內、外認知並不是連接於一時或一點的固定方式

內、外認知能力不是只「連接」於一時或一點，更適當的說這個「連接」應該是個重複綜合修正的過程，這可見於本文所討論主動知覺的幾個演算法，它們的綜合修正過程是重複的 (**recurrent**)、依步驟的 (**stepwise**)，而其整體的表徵本身之形成，是基於重複綜合修正的過程而累進漸進顯明的 (**incremental**)，不是儲存於某處而一時之間被搜尋到的固定表徵。這樣的「連接」方式不是一個固定的方式，而是為了取得更高的適應優勢，在工作層次展開的一系列調適過程。

以上的討論可以算是針對匯勒與克拉克 (1999) 在「內、外認知能力」論題的解答，他們提出「基因式表徵 (**genic representations**)」之概念：內部表徵與認知的外部能力(主要是布如克斯

²⁶ 這樣對探測活動的控制是直接的，以別於「間接的控制」。這一個區別是必要的，因為世界表徵的模型本來就可以(在間接控制的意義之下)參與到活動的控制，一點也不特別。現在有趣的是，世界的表徵直接參與到布如克斯式的機器人建築裡，挑戰到布如克斯(1991) 「所謂境況性活動不需要有世界表徵之參與」的宣言。

(Rodney Brooks 1986, 1991)的機器人所示範的簡單認知能力)²⁷之間的關係**就像**基因碼(genetic codes)與依其而得的蛋白質之間的關係一樣。他們以這個生物化學的關係來**類比**內外認知能力的交互運作，而我則是「具體地」以認知系統之演算法為基礎來**界定**此交互運作的可能方式，這樣可以算是在這個論題的解答上，跨越匯勒與克拉克(1999)的努力而向前邁進一步。²⁸

陸、心靈內容的相關性與表徵的落地

生動機械論與傳統機械論有一個明顯的差別，那就是它主要的應用不在說明外在物理世界，而是在解釋認知的運作。這個

²⁷ 同註 5。關於外部智能的存在及其性質，請見 Varela *et al.*(1991)的討論。

²⁸ 本文提到匯勒與克拉克(1999)是要對他們的理論提出一個補充，對「匯勒與克拉克(Wheeler and Clark 1999)提出的『基因式表徵』作回應，**提出更進一步的機制概念來解釋內外認知能力的關連**」(摘要)、「將跨越匯勒與克拉克(1999)一步，**『具體地』提出此交互運作的可能方式**」(貳)、「超越匯勒與克拉克(1999)所提出的『基因式表徵』之觀念，捨類比式的曉喻而就運作式的界定，因而**具體地**提出此交互運作的一種可能方式」、「繼匯勒與克拉克(1999)提出『基因式表徵』的比喻之後，基於演算法而提出更進一步的機制概念，而把對內外認知能力如何關連的解釋**向前推進了一步**」(見本文之結論)。

為了以上所提之需要，也就是要超越匯勒與克拉克的「類比式的曉喻」，本文確曾描繪他們的「類比式的曉喻」是什麼，以及本文作者是如何地提出更進一步的說法：

他們提出「基因式表徵(genetic representations)」之概念：內部表徵與認知的外部能力(主要是布如克斯(Rodney Brooks 1986, 1991)的機器人所示範的簡單認知能力)之間的關係**就像**基因碼(genetic codes)與依其而得的蛋白質之間的關係一樣。他們以這個生物化學的關係來**類比**內外認知能力的交互運作，而我則是「具體地」以認知系統之演算法為基礎來**界定**此交互運作的可能方式，這樣可以算是在這個論題的解答上，跨越匯勒與克拉克(1999)的努力而向前邁進一步。(見本文伍(二))。

依據以上述，本文的目的既然不是要批評匯勒與克拉克(1999)的論證，而是要「提出更進一步的說法」為他們作補充。本文的目標是去說匯勒與克拉克(1999)的說法是什麼，而本文要如何去提出進一步的說法。

機械論在「認知表徵」這個主題上，顯示了它的解釋力道：它很貼切地解釋了表徵選取的相干性(relevance)是如何運作出來的，而且這個運作方式可以適當地作為表徵的落地(grounding)方式。有趣的是，由於一套機械論同時具有此二面相，本文可以得出一個美妙的結果：認知表徵的落地成就了表徵選取的相干性。以下將說明原由。

一、表徵選取的相干性

關於心靈內容(mental content)會是什麼的問題，有一個相關性進路(correlational approach)的解釋，其中有一個相干性的問題：為什麼認知者所面對外世界裡的某個特定對象(例如，在視覺關係之中，認知者看到實境中的一匹馬)，通常是相關於該認知者之心靈內容裡所呈現的特定內容(「馬」)，而不是相關於其他對象(例如「馬的基因」)?為什麼不是相關於所有其他可能的分立(disjunction)(例如，「馬—或—牛—或—機器馬—或—暮色中的麋—或—遠處的馬像—或—其他相似物」)?為何是相關於「一整隻馬」，而不是「一隻馬的所有的部分之和」?為什麼有時候表徵內容的呈顯會與主觀的信念(beliefs)有關係?²⁹簡單地說，這個相干性的問題可以表達為「為何外在世界裡的一匹馬，會在認知者的心靈內容裡，如實地把『一匹馬』呈顯為最相干的相關，而不是呈顯其他的相關?」。本文可以用「漸增式調適」的過程來解答這個問題：心靈內容與世界的相關性(correlation)是成形於認知機制與世界的互動過程，依「漸增式調適」的步驟，來決定什麼樣的表徵內容是最相干的，其過程如下所述。

²⁹ 關於這四個問題之整理，本文是取自金(1996)(Kim, Jaegwon. *Philosophy of Mind*. Oxford: Westview Press.)頁 191-193。本文認為這四個問題都是相干性的問題。

首先，「漸增式調適」的過程對外在世界的情景具有一定的實在性，而不是武斷的(**arbitrary**)。前面提到，內、外認知能力的關連，依循「漸增式調適」的架構，而連接於一系列重複綜合與修正的過程，在此可以見到相關於外在世界情狀的心靈內容，隨著「漸增式表徵」的建立而逐漸地呈顯確立。在此可以容易看到，心靈內容的來源不但是內在的，也是外在的，因為表徵形成的過程含括了環境狀況所給予認知機制的**反應**。如果沒有這樣的反應，而卻仍然有表徵的形成，那樣的「表徵」會是純粹內生的(**endogenous**)，那不能說不是個幻覺。幸好，表徵是形成於「重複綜合修正」的過程，有「環境狀況所給予認知機制的反應」為其必要因素，所以的確不是純粹內生的。這也就是說，認知表徵的實在性獲得了保障，心靈內容會在一定的範圍之內與外在世界的對象與情景，有一定程度的相干性。

值得注意的是，以上所說的「實在性」並不保證認知表徵**完全的**「正確性(**accuracy**)」，因為，前幾節的討論告訴我們，「漸增式調適」的過程在現實時間限制之下，並沒有提供完全最佳化的解答，而只提供**相對的**最佳化：在實在時間限制之下所能夠允許的最佳解答。這樣的「相對的最佳」，可以解釋為什麼知覺有一定高程度的正確性，卻仍會有些許的錯誤，而且，時間愈緊迫愈容易做出錯誤的知覺判斷。在生動機械論說明之下其原因很清楚，由於「時間急迫」之驅策力的介入，迫使「漸增式調適」的過程縮短，使過程的進行「不夠成熟」，因此錯誤就比平常來得更容易發生了。此外，「由上到下(**top-down**)」過程的過度影響，也會是形成錯誤判斷的一種根源。這樣的現象也可以依「漸增式調適」過程而得到解釋。當重複綜合修正的過程應該訴諸「環境狀況所給予認知機制的**反應**」的時候，如果轉而訴諸「由上到下」而來的**知識**(例如，記憶)，或許知識之間的融慣性(**coherence**)獲得

高度維繫，而且知覺過程的速度可以加快，但是知覺過程過少接納「環境狀況所給予認知機制的反應」之運作與影響力，所獲得知覺表徵的客觀性自然就降低了，因而減低了知覺判斷的「確實性」。這樣的情況可以通過「漸增式調適」的概念而得到解釋³⁰。

以上討論，透過「漸增式調適」的概念在「實在性」與「正確性」問題上照見的清晰性，可以見到生動機械論如何決定與外在世界所呈現某對象的相關「心靈內容」。「馬—或—牛—或—機器馬—或—暮色中的麋—或—遠處的馬像—或—其他相似物」不是個「相關於生存」的概念內容，由於視覺的作用者(依據「漸增式調適」過程的決定方式)必須依視覺內容來決定肢體運動，視覺對象將會儘量指涉到「相關於生存」的對象，而不只是「馬—或—牛—或—機器馬—或—暮色中的麋—或—遠處的馬像—或—其他相似物」、「馬的部分和」、「馬的基因」等邏輯上同樣可能的內容；而且，表徵內容的呈顯會牽涉到「漸增式調適」過程裡先驗知識的內容，所以跟表徵內容的呈顯會與主觀的相信有關係。因此，在面對某個實境對象之時，只有最相干於生存的相關特徵會成顯於心靈之中，成為表徵的內容，於是心靈內容的相干性獲得了解釋。

二、表徵的落地方式

以上對心靈內容的解釋，同時也可以被看成是在說明表徵落地的方式：依「漸增式調適」所建立的表徵，可以被視為是落地的 (grounding)，理由是這樣子建立的表徵可以被視為是有促成生

³⁰ 在此小節本文的態度既不是要完全解決分立問題，更不是要將此問題消除掉。而是要從相干性的角度，經由「實在性」與「正確性」等問題之考慮，說明如何依據「漸增式調適」之過程來切入分立問題，進而由此新的角度來求取這個問題的解答。

物體通過天擇考驗的功能。這個理由是根據康明思(Cummins 1996)對表徵是否落地所下的判準：表徵將是落地的，如果生物體的天擇適應是肇因於該表徵的產生(Holland 1995, pp. 114-116)。

康明思(1996)指出，表徵有兩種內容——表徵本身的內容(representational content)與意向的內容(intentional content)——前者決定表徵的意義性(meaningfulness)，由認知者所認知到的特徵所構成；而後者是表徵的標的(target)，就是這些特徵要被應用到(applied to)哪裡去。舉例來說，認知者所認知到「狗」的種種特徵，應用到實在的狗(而不是貓)；表徵內容裡某種木盤上的排列，被應用到某種特定的棋局(而不是其他棋局、遊戲或其他系統)的進行。關於表徵的落地，依據康明思的看法，是某種功能(function)，它決定要把表徵應用到什麼標的。這有兩種情形——人工與自然系統——在人工系統，表徵要被應用到該系統所被意欲的(intended)標的；而在自然系統，表徵要被應用到使該系統具有適應價值(adaptational value)的標的之上，也就是說，表徵要有促成生物體通過天擇考驗的功能。

關於此功能，康明思特別指出，表徵的「正確性(accuracy)」並不一定具有促成生物體通過天擇考驗的功能，因為「正確性」與「易處理的(tractability)」通常處於消長(trade-off)的關係，而天擇並不求表徵之完全正確，這一點可以在生動機械論裡得到支持。前面提到，「漸增式調適」的過程在現實時間限制之下，並沒有提供完全最佳化的解答，而只提供相對的最佳化，也就是在實在時間限制之下所能夠允許的最佳解答，來回應天擇的考驗。

從「漸增式調適」的過程裡，可以見到表徵落地的運作方式。在「漸增式調適」的過程裡，表徵的構成是累進漸進顯明的，表徵性質的選取是經由「重複綜合修正的過程」，依據「外在對象之形狀與運動方式」的先驗知識而決定，其中，先驗知識就是呈

顯了環境裡最相干於該物種之天擇的性質。舉例來說，老鼠在看到某種移動的陰影之時，立即回應出逃逸的動作，並作出「老鷹正在迫近」的判斷，這樣子過程裡的先驗知識，有促成老鼠通過天擇考驗的功能，而過程本身(伴隨著「漸增式表徵」的建立)可以被視為是在選取最相干於「使老鼠躲避老鷹，以通過天擇」的性質。在此可以說，依據「漸增式調適」的概念，構成表徵之相干性是取決於該表徵是否能促成生物體通過天擇的優勢。依據康明思(1996)對表徵落地所下的判準，「漸增式調適」的過程所構成的表徵是落地的，而且這樣的過程可以被視為是表徵落地的方式。這是根據生動機械論而來，對表徵落地所作的解釋。

以上討論支持本節的論點：生動機械論說明了表徵選取的相干性是如何運作出來的，而且這個運作方式可以適切地作為表徵落地的運作方式。由於這一套機械論同時具有此二面相，本文可以得到一個前面應允要推導出來的結果：認知表徵的落地成就了表徵選取的相干性。這是根據生動機械論，所推導出來的美妙結果。

柒、對傳統知識論的衝擊 主客「對分」並非知識論之必然，細部而言是「互動」的架構

傳統知識論對知識的建立大致有一個基本預設：主客對分。也就是說，自然是被認識的對象，而認識的過程是透過一個知識的主體而進行的，知識的建立過程即使不需要出於一個絕對的消失點(vantage point)，而是容許知識建立的多樣觀點(perspectives)，但知識的建立總預設一個「不動」的知識主體，其運作之過程不受環境因素所影響。外界的角色只是在提供訊息給知識主體，作為知識主體運作的起點。

依據生動機械論對知識建立過程的理解，「主客對分」的基本預設其實並不必然，因為知識主體的運作機制，其實相當程度地決定於「生物體與環境互動」之下環境所給予知識主體的回應。從本文所作主動知覺的個案研究，我們可以看到知覺運作過程有別於傳統知識論的一個重要特徵：捨去全面採用主客之間描述 (**description**) 的關係而引進「認知主體與環境**互動**」的觀念，並且讓知覺**過程**某種程度地決定於外在環境的狀況。本文前面提到，知覺運作過程裡對下一**步驟**之決定，必須依據前一個步驟裡環境探測所得的輸出訊息，加入到知覺系統內部推測所得到的期待訊息作綜合考量。值得注意的是，這裡所談的不是從環境**輸入訊息**的問題，而是認知過程之**步驟決定**的問題。知識主體之運作過程的確是受環境因素所影響，外界環境的角色不只是依「被主體描述的客體」之架構而提供訊息，而是有參與到知識主體運作過程的決定作用。依據以上所論，主客「對分」之架構並非知識論之必然，雖然我們直覺地以為是如此，但經過仔細理解後就知道要將知識建立的過程依從於認知主體與環境「**互動**」的架構。或者更清楚地說，「主客對分」之架構可以被看成是「生物體與環境**頻繁互動**」的知識過程之後，所建立的一個直覺的、大概的 (**approximated**) 架構，其略去的細部過程是認知建築與環境因素**頻繁互動**之下，逐漸地、選擇性地產生認知表徵的過程。

本文所提供的機械論，對傳統知識論有所衝擊，特別是關於知識建構的方式。費得曼 (**Richard Feldman 1998**) 嘗試推翻「自然化知識論」者所認為「知識論必須依賴認知科學的經驗成果」，他宣稱「自然主義者並未提供充份理由來證實經驗成果在核心的知識論工作中 (亦即建構知識與證成的普遍抽象分析) 扮演著舉足輕重的角色」(見費得曼之摘要，本文作者英譯中)。本文沒有要討論知識證成的問題，也不準備全面檢討費得曼 (**1998**) 對「自然化

知識論」之批評是否成立。在此只想就本文所建立之概念與所依據的論證，來重新考慮費得曼關於「建構知識」說法——所謂「知識論不必依賴認知科學的經驗研究，就可以完全確認對『建構知識』之理解」——本文傾向支持認知科學研究對「建構知識」的論題佔有不可或缺的角色，理由如下。

在知識論裡把主客「對分」之架構代之以認知主體與環境「互動」的架構，是對「知識建立之過程」的構思提出一個新的觀點。這樣的替代應該可以稱得上是對知識論概念所作之非常根本而重大的變革，當然也就可以算是一個「核心的知識論工作」。然而，本文所作這樣根本的變革，必須依據「主動知覺」之**經驗研究**（具體而言，是根據知覺系統架設的演算法與其實驗結果）而來，無法光憑想像而獲得。在本文的討論裡我們看到，一些由經驗研究而來的理解，呈現顯示了知覺的建立過程（如本文第參節之三個例子所示範）與知識的來源（例如，先驗知識、環境的反應與「重複綜合修正」的推論），因而經驗研究確實可以參與到知識論範疇的討論，而不止於「對抽象普遍分析之**個案**做說明」或只是「單純地處理**經驗**的課題」（R. Feldman 1998，粗體字強調出自本文作者）。所以，本文的工作可以作為證據來重新思考傳統知識論對知識建立過程所作的概念架構，據此鞏固一個費得曼（1998）想推翻的主張——「知識論必須依賴認知科學的經驗成果」——本文因此可以宣稱：經驗科學的成果與成長會影響到知識論的核心概念，傳統知識論中有重大的部份可以仰賴科學而作相當程度的更動。

捌、與傳統機械論作比較

綜論以上，生動機械論有以下七個特徵：

1. 不用隱喻

不同於傳統機械論，生動機械論並不採用**隱喻**來構思生動機器人以及相關動物系統之機制。而且，生動機械論還超越了目前生動機器人研究用來思想聚集行為的**理論原型**(例如「胞移」、白蟻築巢與螞蟻覓食)，而採用**可以說明演算法的概念**(「漸增式調適」)，來清楚刻畫「調整內在認知控制、在環境裡應變，以靈活執行工作」之機制。就這樣，一種新的理論原型被建構起來了。

2. 沒有一組可全然描述「複雜調適系統」的規則

傳統機械論的「機制」概念，隱涵著控制**整體**自然的一組規則(儘管可能尚未被發現)，而生動機械論視自然為一複雜調適系統，規則只控制**局部(local)**活動，自然的規律仍然依從自然之內作用者(**agents**)之間**互動**的複雜性。尤其值得注意的是，環境的複雜度在此機械論內被正視，因此，環境不再被當作是一個受控制於某組描述性規則的對象，而是透過「**生棲地(niche)**」的概念，環境被看成一個作用者的作用空間、一個結果有些不甚可預測的競技場(**arena**)，或(**and/or**)一個經由**互動**而生成形式的根源。

3. 非決定性

不同於傳統機械論，在生動機械論裡「機制」的概念並不蘊涵完全的決定性。由於生動機械論建基於「複雜調適系統」的脈絡之上，而複雜調適系統的聚集(或生成)行為，特別是**生物體在環境裡的反應**，在理論上(**in theory**)是複雜的與變動的。此外，「生物體與環境的**互動**」本身，其過程不是完全依據規則，與起使條件來決定，而必須根據**互動**的結果，由於環境因素有其根本的隨機性(**random**)，包含許多隨機變數，生物體與環境的**互動**也跟著也有其根本的隨機性，如同量子力學的機制一般，也是非決定性

的 (indeterministic)，³¹ 於是生動機械論的機制也是非決定性的。這也就是說，依理論的相關概念而構思，「漸增式調適」系統的行為是非決定性的，環境因素的影響並不在「生物體與環境的互動」過程發生之前已經先被決定。可以說環境因素在某個程度根源性地服從於混沌，在此範圍內它們並不被某種秩序駕馭，而是根本地隨機的。

這並不是說生動機械論裡的「機制」基本上就沒有規律性，這裡可以套用一個介紹「複雜調適系統」時常被用到的一個觀念：複雜調適系統的規律性是「在混沌邊緣的秩序 (order at the edge of chaos)」，這樣的規律性，³² 可以容納「非決定性的」影響力。³³

³¹ 關於量子力學的機制如何可能「不只是不可預測的(un-predictable)，而且進一步在實體上是非決定性的」，曾招致懷疑(包括愛因斯坦有名的反對)，但此點已經在科學哲學上有許多討論/爭論，本文不準備對此爭論多作一些意見。本文所言的「非決定性的」是基於那些討論裡對「非決定性」所有的肯定而來，讀者如果對此論點基本上有反對，可以把本文所用的「非決定性」概念放回那些討論/爭論的脈絡裡去作理解。

³² 「非決定性的規律性」看來似乎是個矛盾概念，但是「吸引力的來源(tractor)」、「傾向」與「韻律」等影響力，既顯示「規律性」，它也可以容納「非決定性的」影響力。簡短地說，「規律性」與「隨機性」同時各有其有效的程度與範圍。

³³ 本文並不以「混沌根本是非決定性的」為依據來證成漸增式調適系統的非決定性，前面的確有說到「複雜調適系統的規律性是『在混沌邊緣的秩序(order at the edge of chaos)』，這樣的規律性，可以容納『非決定性的』影響力。」事實上，文中所述的非決定性並不單單根據混沌，而是還要溯源到環境因素的隨機性。「隨機性」是在「混沌」之外另行加上的理由，因此作者是認為「含著隨機性的混沌是非決定的」，而並沒有認為「混沌根本是非決定的」。

關於本文提到「環境因素有其根本的隨機性(random)」，本文隨即提到環境因素「包含許多隨機變數」，於是把「隨機性」拉到機率論的脈絡來思考。關於環境可以有「隨機性」這一點，並非本文作者之個人意見，而是機率論及其概念基礎長久以來所致力於的，是有根據的，本文可以據以理解「環境因素的隨機性」。

此外，雖然(如以上所述)本文並未直接以混沌為由來論證非決定性。混沌系統任何的兩個初狀態(initial states)有可能並不完全相同，而一點點的不相同很有可能就會導致系統的特徵演變成極端的不同，於是一個混沌系統的演變不一定要

如果有人主張決定性是個概念的必然，萬有(包括複雜調適系統)都已經被決定了，決定性的存在是構思自然所必須的。生動機械論者可以答辯說，主張在概念層次必然存在著決定性，與「複雜調適系統」有著**定義上的**概念衝突。從另一方面來看，既然可以構想非決定性的聚集(或生成)行為，³⁴就表示決定性**不是**個概念的必然。如「在混沌邊緣的秩序」之概念所示，照樣可以把自然構思為不具有**完全的**決定性之存在。

也許有人會辯稱「複雜調適系統」的決定性**可能**是存在的，只是尚未被發現罷了，在發現之前何必急著主張「不具有**完全的**決定性之存在」呢？然而，生動機械論者可以答辯說，「複雜調適系統」之理論，在概念的起點即**不假設**生成(或聚集行為)具有完全的決定性，更不去尋求發現其決定性。這樣的構思受科學理論與實驗之支持，如果光是邏輯上的可能性，並沒有落實於科學的意義。如果要假設決定性之存在，就要能夠在概念上界定那樣的決定性是以什麼樣態、什麼方式「存在」著；如果要說決定性是「原則上(*in principle*)」存在，也要說明那是什麼樣子的原則，要不然，那樣一個原則上存在的決定性不就其實只是一個不可討論的概念。對照之下，如果有一天在科學活動裡出現了某種方式來構思生成之決定性，那時再來創設一套新的理論與機械論也不遲(也許只需要**擴展**目前的「複雜調適系統」之理論，並依此修正生動機械論對決定性的構思)。目前還是維持「非決定性的聚集行

被看成是決定性的(Sklar, L. 1995. "Determinism." Pp. 117-119 in J. Kim, and E. Sosa, (eds.), *A Companion to Metaphysics*. Oxford: Blackwell publishers.)。就以本文為例，由於所提之「漸增式調適過程」往復地考慮到在不同時間之下的環境因素，環境因素的隨機性就可以一再影響到漸增式調適的過程，因而構成了漸增式調適系統一再地有「兩個初狀態並不完全相同」的條件，系統的決定性於是被大大削弱了。此例顯示混沌可以是非決定性的。

³⁴ 在生動機械論裡，並沒有將聚集行為的非決定性列入複雜調適系統的定義。

為」之概念起點，使這套形上學的概念較具有落實與科學理論概念上的說服力。

4. 非化約的物理主義

不同於認知論者常認為的「物理主義」，在生動機械論裡，由於大腦的聚集行為，³⁵ 認知與大腦的關係是非化約的 (*irreducible*)；然而，物理主義之可能性仍然被保留著。

5. 調適

不同於傳統機械論的解釋，生物體的「自我調適」不再是個機械論裡難以理解的概念。雖然生動機械論不必預設一個「精靈小人」的存在來解釋調適性行為之進行，但是，因著依據「漸增式調適」的相關概念，可以將「自我調適」納入機械論的範疇裡，因而「一個在複雜環境裡回應變動狀況的自我」可以納入機械論的構思範圍，而且這樣的構思可以落實於科學的成果為其依據。³⁶

6. 整合

不同於傳統機械論，在生動機械論裡「機制之間的整合」之概念並不一定需要理論間的整合，尤其不需要尋求一個「全包式的」(或「愛因斯坦式」的)大理論來理解個別系統之間的關係。而是，整合可以來自於所牽涉系統之間、以及個別系統內部諸組成單元之間的互相協調。「漸增式調適」過程示範了一種這樣的協調方式。

³⁵ 見註 4 關於「認知論」與「物理主義」之討論。

³⁶ 從此處接下來，開展了一個可能性，可以援引科學成果來重新考慮(甚至重新建構)形上學裡「機械論的決定性」與「自由(freedom)」對立之問題。但是現今認知科學裡相關於此論題的知識，仍大有待開發；從本文所引的科學討論起，仍有待向「上層次」發展，這是從 Maes (1990) 提出的攀登問題 (scaling problem)，所以可以延伸關涉到的思考。

7. 機制反應了目的性

大大地不同於傳統機械論，生動機械論不再完全地與目的論針鋒對立，因為它以某種方式反應了生物機制的目的性，如以下所述。在「漸增式調適」過程裡，如本文所列「主動知覺」的三個演算法所示範的那樣，「重複綜合修正」的過程必須依據生物體內在的（在工作開始之前即具有的）先驗知識來作推論，這樣的知識反應了生物體在其生棲地**生存所需**的最重要性質。其中，知覺機制的高度選擇性服從於實用上（**pragmatic**）的考量：何種表徵將形成於生物體內在的先驗知識之中，仍要決定於（在環境裡何者較能產生）「使用（**use**）」上的優勢，而有益於生物體的生存。舉例來說，被捕食的動物（**prey**）之認知機制裡的先驗知識，以高度選擇性來處理知覺訊息，因而使它能夠發揮其實用價值，敏感而迅速地在知覺過程裡反應掠食者迫近的相關性質。這些認知性質反應了被捕食動物**為了生存所需要**認知到其生棲地的特徵，而這樣的高度選擇性顯示了認知判斷內在地具有「為了生存之需要」的目的性，並且也「規範」了**值得**進行的認知過程，也就是規範了「何者為益於生存」的實用價值。可見，認知判斷之機制並不止於描述式的、價值中立的原理，相反的，這樣的機制裡仍有著「以適應生棲地為其內在目的」之一面。因此本文可以說，認知的機制以某種方式反應了「為了促進生物體在其生棲地之生存優勢」的內在目的性。

玖、結論

本文建構了「漸增式調適」的概念，作為理解「複雜調適系統」的一個理論原型。「漸增式調適」指產生「漸增式表徵」的「重複綜合修正」過程，經由它我們可以構思、理解「生物體與

環境互動」之機制，特別是理解生動機器人、以及所有實在生物體的認知建築，何以能夠靈活地回應環境裡難以完全描述之複雜因素與變動性，而調適自我以致於完成工作。因此，本文建立了一個以生動機器人之認知機制為中心主題的機械論。

這樣的機械論有一些不同於傳統機械論的性質。生動機械論不用任何隱喻，而用基於演算法的概念來理解「複雜調適系統」的機制。環境(或外在世界)不再被當作是一個受控制於某組描述性規則的對象，而被看成是一個經由互動而生成形式的根源，且其互動過程是非決定性的。透過「漸增式調適」的概念，可以不必預設一個「精靈小人」的存在來解釋調適性行為，因而將「自我調適」納入機械論的範疇裡。此外，多元認知次系統之間的整合可以依據「漸增式調適」的概念而被看成是系統之間、以及個別系統內部諸組成單元之間的互相協調。最後，生動機械論說明了，一個內在認知機制的目的性：機制裡的先驗知識是以「促進生物體在其生棲地之生存優勢」為目的。

生動機械論提供給「意向性」問題一些清楚的解釋。經由「漸增式調適」的過程，表徵形成的過程是經由內、外認知能力的關連，此二知識的來源是連接於一系列重複綜合與修正的過程。因此，意向性應含括環境狀況所給予認知機制的反應。也就是說，表徵之建立，是內在過程與外在過程緊密連在一起的。

依據「漸增式調適」的概念，可以在目前「內、外認知能力之關連」的論題上，繼匯勒與克拉克(1999)提出「基因式表徵」的比喻之後，基於演算法而提出更進一步的機制概念，而把對內外認知能力如何關連的解釋向前推進了一步。除此之外，通過「漸增式調適」的概念來構思生物體的認知機制，甚至影響了傳統知識論的一個核心架構——「主客對分」——可以從此將它更詳細地理解為：在「生物體與環境頻繁互動」之下逐漸建立認知表徵

的過程，而把主客「對分」之架構看成是描繪此互動過程的一個大概的架構。

總括來說，「漸增式調適」的概念依其五個要點——相對最佳化的調適、在與環境互動之下作有效率的修正、內外訊息的綜合、綜合的樣式、得助於先驗知識——顯示了生動機器人以及所有實在生物體的生動機制，據之可以知道認知的調適能力並不是傳統「時鐘」隱喻所能說明的。這五個要點，環繞在「認知建築與環境的互動過程」之主題，開展了一個全新的機械論，作為構思「複雜調適系統」的一個理論原型，特別是適合於思考生動機制。

劉希文，現職靜宜大學人文科助理教授，國立清華大學通識教育中心「邏輯」課程兼任助理教授，寫作本文時於國立清華大學哲學研究所作博士後研究；東海大學哲學碩士，英國愛丁堡大學認知科學博士。作者最近之學習領域包括認知科學的哲學、複雜調適系統的哲學基礎，專題研究的走向沿著以下三個向度：模組性(modularity)與分散性處理(distributed processing)的關係、認知模型與境況性活動(situated activities)的關聯，以及認知能力的演化基礎。最近著作：「境況性表徵的模型控制」，《台灣人文生態研究》，第二卷第二期(2000年6月)，pp. 33-48。最近之研討會發表：“Multiplism of cognition: A case study of active perception”，Abstract poster, Twenty first annual conference of the Cognitive Science Society; Simon Fraser University, Vancouver, Canada; August 18-21, 1999。

參考書目

- Aloimonos, Y., ed. 1993. *Active Perception*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Aloimonos, Y., I. Weiss, and A. Bandopadhap. 1988. "Active Vision." *International Journal of Computational Vision*, Vol. 7, pp. 333-356.
- Ayache, N. 1991. *Artificial Vision for Mobile Robotics: Stereo Vision and Multisensory Perception*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Bajcsy, R. 1988. "Active Perception." *Proceeding IEEE*, Vol. 76, pp. 996-1005.
- Ballard, D. H. 1991. "Animate Vision." *Artificial Intelligence*, Vol. 48, pp. 57-86.
- Ballard, D. H., and C. M. Brown. 1993. "Principles of Animate Vision." Pp. 245-282 in *Active Perception*, edited by Aloimonos and Aloimonos.
- Boden, M. A. 1995. "Autonomy and Artificiality." Pp. 146-60 in *Nature Imagination: The Frontiers of Scientific Vision*, edited by J. Conwell. Oxford: Oxford University Press. Reprinted in Boden (1996), pp. 95-108.
- _____, ed. 1996. *The Philosophy of Artificial Life*. Oxford: Oxford University Press.
- Brooks, R. A. 1986. "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot." *IEEE Journal of Robotics and Automation*, RA-2 (April), pp. 14-23.
- _____. 1991. "Intelligence Without Representation." *Artificial Intelligence*, Vol. 47, pp. 139-160.
- Cariani, P. 1991. "Emergence and Artificial Life." Pp. 775-797 in *Artificial Life II*, edited by Langton *et al.* (1991). Redwood City, Calif.: Addison-Wesley.
- Clark, A. 1995. "Autonomous Agents and Real-time Success: Some

- Foundational Issues.” *Cannochiale*, special edition on Artificial Intelligence.
- Clark, A. 1996. “Happy Couplings: Emergence and Explanatory Interlock.” in Boden, pp. 262-81.
- _____. 1997. *Being There: Putting Brain, Body, and World Together Again*. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
- Clark, A., and D. Chalmers. 1998. “The Extended Mind.” *Analysis*.
- Clark, A., and M. Wheeler. 1998. “Bring representation back to life.” Pp. 3-12 in *From Animals to Animats, 4: Proceedings of the Fourth International Conference on Simulation of Adaptive Behaviour*, edited by R. Pfeifer, B. Blumberg, J. Meyer, and S.W. Wilson. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
- Clark, J. J., and Ferrier, N. 1992. “Attentive Visual Servoing.” Pp. 137-154 in *Active Vision*, edited by Blake and Yuille. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
- Cummins, R. 1996. *Representations, Targets, and Attitudes*. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
- Dickmanns, E. D. 1992. “Expectation-based Dynamic Scene Understanding.” Pp. 303-335 in *Active Vision*, edited by Blake and Yuille. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
- Feldman Richard 1998. “Naturalism in Epistemology.” 《歐美研究》(EURAMERICA). Vol. 28, No. 3, pp. 1-39.
- Franklin, S. 1995. *Artificial Minds*. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
- Gelb, A. 1974. *Applied Optimal Estimation*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Haykin, S. 1995. “Adaptive Signal Processing.” Pp. 82-85 in *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, edited by Arbib. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
- Hendriks-Jansen, H. 1996. *Catching Ourselves in the Act: Situated*

- Activity, Interactive Emergence, Evolution, and Human Thought*. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
- Holland, J. H. 1995. *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Johnson, M. H. 1993. "Constraints on Cortical Plasticity." Pp. 703-721 in *Brain Development and Cognition*, edited by M. H. Johnson. Oxford: Basil Blackwell Ltd.
- _____. 1997. *Developmental Cognitive Neuroscience: An Introduction*. Oxford: Basil Blackwell Ltd.
- Karmiloff-Smith, A. 1992. *Beyond Modularity: A Developmental Perspective on Cognitive Science*. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
- Kauffman, S. 1995. *At Home in the Universe: The Search for Laws of Complexity*. New York: Penguin.
- Kim, J. 1996. *Philosophy of Mind*. Oxford: Westview Press.
- Lakoff, G., and M. Johnson. 1999. *Philosophy in the Flesh—The Embodied Mind and its Challenge to Western Thought*. New York: Basic Books.
- Langton, C. G. 1989. "Artificial Life." Pp. 39-94 in C. G. Langton (ed.). Reprinted with a refined version in Boden (1996), pp. 39-94.
- _____, ed. 1989. *Artificial Life: Proceedings of an Interdisciplinary Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems*. Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings, 6; Redwood City, Calif.: Addison-Wesley. Pp. 1-47.
- Liu, H. W. 1998. *The Emergence of Active Perception—Seeking Conceptual Foundations*. Ph. D. dissertation, Centre for Cognitive Science, University of Edinburgh, U.K.
- Maes, P. 1990. "Situated Agents Can Have Goals." In *Designing Autonomous Agents*, edited by Maes, P. Cambridge, MA: MIT

- Press/Bradford Books.
- Maes, P. 1995. "Modeling Adaptive Autonomous Agents." Pp. 135-162 in *Artificial life: An Overview*, edited by C. G. Langton. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
- Marr, D. 1982. *Vision*. San Francisco: W. H. Freeman and Co.
- Merleau-Ponty, M. 1963. *The Structure of Behavior*. Trans. Alden Fisher. Boston: Beacon Press.
- Minsky, M. 1985. *Society of Minds*. New York: Simon and Schuster.
- Morán, F., A. Moreno, E. Minch, and F. Montero. 1997. "Further Steps Toward a Realistic Description of the Essence of Life." Pp. 255-263 in *Artificial Life V*, edited by Langton & Shimohara. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
- Ornstein, R. 1986. *Multimind*. Boston: Houghton Mifflin.
- Oyama, S. 1985. *The Ontogeny of Information: Developmental Systems and Evolution*. Cambridge University Press.
- Quartz, S. R., and Sejnowski, T. J. 1994. "Beyond Modularity: Neural Evidence for Constructivist Principles in Development." *Behavioral and Brain Sciences*, Vol.17, No.4, pp. 725-726.
- _____. 1997. "The Neural Basis of Cognitive Development: A Constructive Manifesto." *Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 20, No. 4, pp. 537-596.
- Reynolds, C. W. 1987. "Flocks, herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model (Proceedings of SIGGRAPH 1987)." *Computer Graphics*, Vol. 21, No. 4, pp. 24-34.
- Robinson, D. A. 1968. "The Oculomotor Motor Control System: A Review." *Proceedings of the IEEE*, Vol. 56, No. 6, pp. 1032-1049.
- _____. 1987. "Why Visuomotor Systems Don't Like Negative Feedback and How They Avoid It." Pp. 89-107 in *Vision, Brain and Cooperative Computation*, edited by M. Arbib and A. Hanson.

Hanson. Cambridge, MA: MIT.

van Gelder, T. J. (to appear). "The Dynamical Hypothesis in Cognitive Science." *Behavioral and Brain Sciences*.

van Gelder, T., and R. F. Port. 1995. "It's About Time: An Overview of the Dynamical Approach to Cognition." Pp. 1-43 in *Mind as Motion: Explorations in the Dynamics of Cognition*, edited by R. F. Port and T. van Gelder. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.

Varela, F., E. Thompson, and E. Rosch. 1991. *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.

Wheeler, M. and A. Clark. 1999. "Genic Representations: Reconciling Content and Causal Complexity." *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 50, pp. 103-135.

Yarbus, A. L. 1967. *Eye Movements and Vision*. New York: Plenum Press.

**Animat Mechanicalism:
On the Mechanisms of Interaction between
Cognitive Architectures and the Environment**

Hsi-Wen Liu

Abstract

As yet, mechanicalism has not accounted for cognitive adaptation at the *task* level, although Darwinian evolutionary biology has made available significant understandings as to the adaptation of organism traits at the evolutionary level. The present paper, based on a case study of *active perception*, will fill this gap, by providing a mechanicalist account of task-level cognitive adaptation, through the notion of *incremental adaptation*. This notion is constructed on the basis of algorithms of three active perception systems: attentive control of saccades, Kalman filter implemented in navigation systems, and Dickmanns' car. Such a notion will replace the traditional "clock" metaphor of mechanicalism, and stand as a novel prototype of understanding for explaining Complex Adaptive Systems. The present account, beyond traditional epistemology, obviates a subject-object dichotomy for understanding the world, and instead puts the world in the context of organism-environment interaction. This paper also provides a complement to Wheeler and Clark (1999), which is a recent endeavour at integrating internal and external cognition.

Key Words: mechanicalism, animat research, complex adaptive systems, adaptation, environment