

始祖鳥、羽毛與 鳥類飛行之謎

Taking Wing: Archaeopteryx and the Evolution of Bird Flight

科學家從七個化石標本與一片羽毛開始，追蹤挖掘出鳥類演化真相的精彩科學探案

✻ 希普曼◎著 蔡承志◎譯

第一隻鳥是怎麼出現的？
始祖鳥與翼手龍有什麼關連？
羽毛與翅膀為何能讓鳥類脫離地面生活，
翱翔天際？
飛行對人類的意義究竟為何？
且看科學家如何從僅有的少數化石拼湊
出歷史的真貌，解開鳥類飛行之謎！

自然科學博物館
地質學組主任
程延年 博士
審訂／導讀

貓頭鷹書房

有些書套著嚴肅的學術外衣，但內容平易近人，非常好讀；有些書討論近乎冷僻的主題，其實意蘊深遠，充滿閱讀的樂趣；還有些書大家時時掛在嘴邊，但我們卻從未看過……

如果沒有人推薦、提醒、出版，這些散發著智慧光芒的傑作，就會在我們的生命中錯失——因此我們有了**貓頭鷹書房**，作為這些書安身立命的家，也作為我們智性活動的主題樂園。

貓頭鷹書房——智者在此垂釣

始祖鳥、羽毛與鳥類飛行之謎 始祖鳥始終是科學界的激辯議題：現存的鳥類真是活生生的恐龍？化石記錄透露了哪些真相？飛行最初是從「地面起飛」還是從「樹梢飄降」？在本書中，人類學與演化學家希普曼追溯人類自古以來對於高飛與了解過去的兩大渴望，破解這個古生物學界革命性的複雜問題，她不僅完整記錄了有關鳥類起源的種種爭議論述，更始終將始祖鳥視為一個更深層疑點的象徵：能夠飛行，具有何種意義？本書既是詳實的研究記錄，也是精彩的科學探險故事，讓我們深入了解鳥、恐龍與演化，以及科學研究艱辛與動人之處。

作者簡介 希普曼 (Pat Shipman)，美國賓州州立大學人類學教授。早期為化石生成學家，近年的研究則集中於人類學史與演化史。她在這方面的數本著作，在一般讀者與專業界間均獲好評，包括《種族主義之演化》(The Evolution of Racism, 1994)、1997年與沃克 (Alan Walker) 合著的《骨中智慧》(The Wisdom of the Bones) 獲頒宏—布朗科學書獎 (Rhône-Poulenc Science Book Prize)。此外並以演化與人類學為題，撰寫大量論文，發表於《發現》(Discover)、《自然史》(Natural History)、《新科學家》(New Scientist) 與《焦點》(Focus) 等科學雜誌。

譯者簡介 蔡承志，專業譯者，已出版譯作包括《你要不要被複製？》、《狗狗知道你要回家？》、《當科技變成災難》、《23對染色體》、《螞蟥·螞蟥》、《約翰惠勒自傳》、《領導基因》、《公關聖經》(合譯)、《穿梭超時空》(合譯)、《行銷研究》、《組織行為》(合譯)等。另參與協力編輯《劍橋百科全書》，以及審閱《阿毛的恐龍世界光碟》、《恐龍大百科光碟》等。

貓頭鷹書房 204

始祖鳥、羽毛與 鳥類飛行之謎

**Taking Wing:
Archaeopteryx and
the Evolution of Bird Flight**

希普曼 著

蔡承志 譯



貓頭鷹出版社

Taking Wing: Archaeopteryx and the Evolution of Bird Flight

Copyright©1998 by Pat Shipman

Published by arrangement with Pat Shipman c/o Ralph M. Vicinanza, Ltd.

Through the Chinese Connection Agency, a division of The Yao Enterprises, LLC.

Complex Chinese Edition Copyright©2001 OWL PUBLISHING HOUSE,

a Division of Cite Publishing Ltd.

ALL RIGHTS RESERVED.

貓頭鷹書房 204

ISBN 957-469-684-7

始祖鳥、羽毛與鳥類飛行之謎

作 者 希普曼 (Pat Shipman)

譯 者 蔡承志

主 編 陳穎青

執行編輯 羅凡怡

特約文編 徐慶雯 廖怡茜

封面構成 郭佳慈

電腦排版 謝宜欣

出 版 貓頭鷹出版

發 行 人 郭重興

發 行 城邦文化事業股份有限公司

台北市信義路二段213號11樓

電話：(02)2396-5698 傳真：(02)2351-9187

網址：<http://www.cite.com.tw>

郵撥帳號 1896600-4 戶名：城邦文化事業股份有限公司

香港發行 城邦（香港）出版集團

香港北角英皇道310號雲華大廈4/F, 504室

電話：(852)2508-6231 傳真：(852)2578-9337

馬新發行 城邦（馬新）出版集團

Cite(M) Sdn. Bhd. (458372 U)

11, Jalan 30D/ 146, Desa Tasik, Sungai Besi,

57000 Kuala Lumpur, Malaysia.

電話：(603)9056-3833 傳真：(603)9056-2833

印 製 成陽印刷股份有限公司

初 版 2001年10月

定 價 350元

國家圖書館出版品預行編目資料

始祖鳥、羽毛與鳥類飛行之謎 / 派特·希普曼 (Pat Shipman) 著；蔡承志譯。-- 初版。-- 臺北市：貓頭鷹出版：城邦文化發行，2001（民90）
面：公分。--（貓頭鷹書房：204）
譯自：Taking wing: Archaeopteryx and the evolution of bird flight
ISBN 957-469-684-7（平裝）
1. 鳥類化石

497.1

90007894

著作權所有 翻印必究
缺頁或破損請寄回更換

■審訂序

想飛，萬事俱備僅待東風

程延年

飛翔，是生命藍圖共同的試探。我欲乘風歸去，又恐瓊樓玉宇，高處不勝寒。在生命演化的浮光掠影中，海洋是子宮、是搖籃、是溫床。三十五億年前，第一顆細菌在汪洋中著床。飛翔，是征服最後一片的天空；想飛，是生命共同的願望與夢想。為什麼要飛？怎麼才能飛？是理想與現實相互拉扯的窘局。生命各自創生了奧妙的裝備：蒲公英的種子、昆蟲的翅膜、飛鼠的滑翔翼、蝙蝠的翼膜、翼龍的翅膀、鳥的羽翼。它們都想飛、各自創生了奧妙的裝備，異曲同工，彩繪出巧奪天工的生命藍圖。

5 審定序

一個世紀前，一根羽毛與七件標本驚世駭俗的際遇，誘發了一連串迷人的議題。一百三十五年之後（1860-1995），中國遼西四合屯地區世紀末的大震撼，再度點燃起恐龍與鳥恩恩怨的另一把烽火。聖賢孔子鳥、原始祖鳥、尾羽龍、千禧中國鳥龍、豐寧原羽鳥與趙氏小盜龍，每一件標本都是一次驚艷，每一次驚艷都成為《科學》(Science)、《自然》(Nature)學術期刊最重要的論文報導。這

一群億萬年埋藏、生死輪迴的化石標本，吸引著古生物學家貪婪的眼神，讓全球科學家深深著迷。爲什麼？

話分兩頭講起。始祖鳥的化石標本，是古生物領域中的「蒙娜麗莎」(Mona Lisa)，羅塞達碑石(Rosetta Stone)。一八七六年發掘於德國的這隻一億五千萬年前的鳥類祖先化石，真是令人困惑又迷戀不已。除卻明晰的羽翼印痕外，滿嘴的細齒、碩長的尾椎骨，再加上前肢具有勾爪的三趾，始祖鳥的骨骼構造藍圖，真正是介乎現生鳥類與滅絕了的恐龍之間——古生物學所慣稱的「一只失落的環節」！回溯到十九世紀，著名的博物學家赫胥黎與歐文的年代。當時流傳一則迷人的傳說軼事：在一次聖誕大餐的晚宴中，赫胥黎拖著疲憊的身軀從實驗室回來，喫著火雞大餐，在酒酣耳熱、半醉半醒之間，他猛然驚覺到眼前火雞的骨頭殘骸和擺在他研究室中巨龍(Megalosaurus)的化石如此神似。從這一晚開始，赫胥黎就堅信不疑，所稱「鳥綱」(包括火雞在內)的這一群動物的祖先，必然是從恐龍演化而來。因此談論恐龍與鳥的恩恩怨怨，從解剖構造與比較解剖學(comparative anatomy)的觀點被認知，已經有一又四分之一個世紀漫長的歷史了。

在歷經一個半世紀，追溯鳥的起源，羽毛的起源與飛翔的起源三大議題，始祖鳥精緻、完美又帶有神秘色彩的化石標本，總計就只有一根羽毛、七件骨架埋藏壓平的標本(最近在二〇〇〇年，第八件骨架標本被發掘，爲私人所收藏，尚未正式報導與描述)。超過百篇的學術論文與報告，反覆探究這些標本在演化上的深義。科學，被認定是通往大自然真理的唯一道路、不二法門；科學家受恩寵爲解開大自然奧秘與真相的代言人。透過詳實的觀察、分析與研究，「詮釋」卻引發出截然不同的結局。一個半世紀以來，透過這七件珍貴的化石標本，解開了諸多的謎題，卻也同時誘發出更多的懸

案。媒體報導，捕風捉影；坊間科普書籍，蛛絲馬跡、支離破碎，讓人困惑不已。我在一九九八年英國的劍橋大學書屋購得本書精裝原版，大為驚訝。原書名「TAKING WING」，畫龍點睛；副標題「始祖鳥與鳥飛翔之演化」，正是科學家一個半世紀以來辯駁、爭論的中心議題。作者希普曼是位人類學家，以基礎紮實的科學訓練，寬廣深厚的眼界觸類旁通，更能夠以生花妙筆、抽絲剝繭式的摘要精華，為美國三大科學普及期刊《發現》(Discover)、《自然史》(Natural History)與《新科學家》(New Scientist)撰稿。全書十二章節，觸及鳥演化中三大議題的每一支細節，或許有些部分並非讀者可以輕易掌握，但是奧妙之處就在於：像是神探福爾摩斯檢視一處命案的現場，兇手已經逃離，場景已形消逝，蛛絲馬跡、斷簡殘片、邏輯思考與科學方法的推演，正是神奇之處，能夠串聯起支節末葉、反覆檢視；游走於各個章節，順著作者架構的軌跡、線索與伏筆，在眾說紛紜之中，理出自己的頭緒。太多的素材、太多的線頭、太多的曖昧、太多的堅持與信仰，讀者或許自然要問道：科學家到底在做些什麼？不能給我一個簡單的答案嗎？這，誠然觸及了科學本質的核心。我曾經在一項科學探索特展「恐龍與鳥的恩恩怨怨」的小冊子中，寫道：「真理，是天邊的彩霞；科學是另一種信仰；信仰定奪了我們對大自然的觀點；而大自然是神祕的。」在一九九九年秋季的一門通識課程中，我讓東海大學的一群學生選讀十本書做小組報告，本書正是書單中的一本，生物系的一群孩子很興奮、也很成功地做了這次報告，第一次驚心於鳥兒和恐龍牽扯出一段耐人尋味又曖昧不明的恩恩怨仇。二〇〇一年，貓頭鷹出版社以慧眼選譯這本書，讓我再度震撼。台灣有密度非常高的一群賞鳥人、愛鳥迷；始祖鳥或許也是眾多入印象中的一件圖騰；終究，要從雙筒望遠鏡的稜鏡中，轉而透視億萬年前第一隻鳥化石所隱喻的實情真象，串聯起彼此的關聯，是有多重障礙的。透過譯者高明順暢的文筆，或許

愛鳥的廣大讀者，都想從中一窺億萬年的奧秘呢！

我想挑起的第二個話頭，發生在中國。一九九八年四月，我與同行們第一次見識到珍藏在北京地質博物館大門深鎖庫房中的「中華龍鳥」標本——第一件長毛的恐龍！這是兩年前一個仲夏午后，在中國東北遼西大平原的一個小農莊，北票地區的四合屯，當地農民發掘到、堪稱為這個世紀最重要的化石標本。一九九七年十一月十四日，這件珍貴標本的放大照片刊登在全球最頂尖的《科學》期刊封面。事實上，地質博物館的季強與姬書安，已經搶先在《中國地質雜誌》第二三三卷發表了初步報告，正式命名為「原始中華龍鳥」，報告題目：「中國發現最早的鳥類，鳥類起源探究」。敏銳的讀者或許已經留意到，長毛的恐龍，為什麼又是最早的鳥類？為什麼又喚做原始中華龍鳥呢？——這正是關鍵所在。羽毛，是一個半世紀以來「鳥綱」的標記。牠，有羽毛的一件化石標本，必然是鳥；牠的骨骼藍圖又神似恐龍，因此稱之為「中華龍鳥」——在中華神州發掘的，一隻像極了恐龍的鳥！這讓我們想起了一個半世紀前，那晚聖誕宴會中猛然驚醒的赫胥黎。一九九八年一月八日，《自然》期刊，另一本歐洲最頂尖的學術期刊，刊登了中國龍王董枝明等人「正名」的論文，這隻長了毛的化石，屬於獸足龍類恐龍中的美頰龍類群，是為「中華鳥龍」——在中華神州發掘的、一隻長滿毛像鳥的恐龍！

無人料到，這僅是一團線球的開端。四合屯曠世的化石寶庫，陸續發掘到中生代最關鍵重要的古鳥化石與小型恐龍化石——所有恐龍全長了「毛」，其中包括有正字標記的「羽毛」構造。從三塔中國鳥、燕都華夏鳥、北山朝陽鳥，到聖賢孔子鳥、長趾遼寧鳥、步氏始反鳥、杜氏孔子鳥，到嬌小遼西鳥、朝陽長翼鳥、豐寧原羽鳥。其中二〇〇〇年十二月刊載於《科學》期刊的原羽鳥化石，「羽毛」

根部類似爬行動物的鱗片構造，羽毛末端又是典型鳥類的羽毛正型——第一次將爬行動物表皮上的鱗片與鳥類表皮上的羽毛構造直接聯繫起來，為羽毛起源的千古懸案提供了最重要、直接的化石證據，讓舉世科學家拍案叫絕。而另一群「長毛的」恐龍，打從原始中華龍鳥開始，陸續發掘並命名了：粗壯原始祖鳥（同樣不是鳥，而是恐龍）、鄒氏尾羽龍、意外北票龍、千禧中國鳥龍、董氏尾羽龍以及趙氏小盜龍。其中二〇〇〇年十二月發表於《自然》期刊的這隻體形嬌小、獸足類恐龍的「小盜龍」，推斷為樹棲型的物種，為鳥類的恐龍起源說與飛行的樹棲起源說，提供了另一個關鍵性的直接證據。

希普曼在撰寫這本書期間，遙遠中國的化石標本正陸續被發掘，在一群「精明」的科學家手中輾轉流傳。古生物學「素材」的致命關鍵，與「命名」的先奪權之傳統，掌控著這批科學家終身榮耀桂冠的摘取。他們小心翼翼，避免風聲走露，直到平地一聲雷起，振聾啟聵，主宰著全世界科學家關注的眼神。始祖鳥，是第一波熱潮，洶湧澎湃達兩個世紀；四合屯化石群，是第二波熱潮，浪頭隱然若現。我們捧讀這本精彩的大書，也期望著一本以中文撰寫的鳥類演化大書，能夠讓英國「Weidenfeld & Nicolson」或美國「Simon & Schuster」出版公司去爭奪翻譯版權。

程延年 美國德州大學（達拉斯）博士，專長古生物學、演化論。現任國立自然科學博物館地質學組研究員。

始祖鳥、羽毛與鳥類飛行之謎 目次

審定序 想飛，萬事俱備僅待東風 程延年 5

前言 乘著幻想的翅膀 13

第一章 迷人羽翼 23

第二章 拍翅翱翔的祕辛 55

第三章 飛行規畫 81

第四章 巢狀分類歸位 107

第五章 一鳥在手 141

第六章 有羽毛的鳥 167

第七章 展翅乘風 193

第八章 俯衝而下 209

第九章 飛龍在天 243

第十章 邁向飛行之路 265

第十一章 笑傲長空 295

第十二章 糾結的羽翼 315

參考書目 336

圖片版權聲明 349

始祖鳥、羽毛與 鳥類飛行之謎

**Taking Wing:
Archaeopteryx and
the Evolution of Bird Flight**

編輯并言

本書中文版編輯過程，首先要感謝國立自然科學博物館地質學組程延年博士，於百忙之中審訂全文，在翻譯與編輯上給予不少指導，指正專有名詞與知識概念上的疑義，更賜文導讀推薦，提供關於「中華龍鳥」的最新相關知識，特此致謝。此外，還要感謝「鳥人」郭達人先生熱心提供術語中譯，以及台北野鳥協會協助查證部分譯名。

本書翻譯與查證工作未盡完善，謬誤疏漏之處，尚請各方不吝指正，編輯室擔負全責。

本書內文注釋，請至下列網址檢索：

<http://www.cite.com.tw/bookdata/bookdata.php?book-snum=YK1204>

前言 乘著幻想的翅膀

目前有七件標本，以及一片羽毛。

這些少數證據還不足以記載鳥類的飛行起源。嚴格說來，除了這些標本之外，還有其他證據。當然，還有其他化石鳥類，更不必說蝙蝠、翼手龍類，以及昆蟲等與鳥類飛行有關係的證據。此外還有現存生物、數學模型、空氣動力學理論，這些都有助於我們了解這種奇妙的演化成就。無論如何，這七件標本仍是其中的關鍵。自一百三十多年以前，第一件始祖鳥標本被人發現後，便引發了複雜的爭議，從此這些標本便一直位於議論的核心並延續至今。這少數幾件獨特的化石奠定了一個基礎，激發了輝煌的推演、奔放的揣測、精闢入裡的分析，以及讓人稱奇的洞見。這些標本所顯示的不只是鳥類與鳥類飛行的可能起源途徑，同時也告訴我們許多關於科學與科學家能力所及與所不及之處。

只有七件珍貴的標本：當我最初認識它們時，我便震懾於它們的矛盾性質。七件這麼零散瑣碎的標本證據，似乎無法告訴世界關於這種失落的動物的一切真相，然而，也幾乎沒有任何已滅絕物種是這麼出名。最驚人的是，在這七件標本裡，有一件或許可以算是世界上最美麗的化石，那就是柏林始祖鳥化石。那是一片精緻的石版與對應面石版，裡面記錄了演化過程裡的一個驚人片刻，爬行動物便是在當時演化轉變成鳥類。就算是沒受過訓練的人，也看得出柏林始祖鳥究竟為何物：牠的翅膀與羽

毛清晰可見，還有類似爬行動物上下頷裡的牙齒，骨質長尾也一樣明顯。柏林標本實在是大重要了，這不只是某種已滅絕物種的化石記錄，這是一種圖騰標誌——是過去一種神聖的遺跡，也是演化程序本身一個重要的象徵。這是第一隻鳥。請不要把這件標本想像成一具圓滾滾的骨架，類似你在博物館裡看到的，經過修復裝架完成的恐龍。始祖鳥比較像是一種淺浮雕，一種二度空間浮出的怪物雕塑，半是鳥，半是爬行動物。這具骨架，加上韌帶、肌腱、皮膚及羽毛，全都夾印在遠古石塊之中，呈現出一種幾乎完全平坦的型態。始祖鳥這種保存型態，不但是一種科學標本，也可以算是藝術品。其中的差異是：巧手雕塑創造出這件作品的藝術家正是時間本身。

時間展現出漂亮、細膩的作品。保存著細緻牙齒的頭骨訴說著死亡，訴說著鳥類與爬行動物的融合為一，也描述了這種不再存活的生物。那顆頭骨豎立於優雅的彎頸之上，頸部嚴重後弓，凸顯出牠死亡時肌腱的無情緊繃狀態。石版的左右兩側是精緻的雙翼羽毛，讓我們生出天使般的無邪感受；然而，兩翼上卻又各保存了三個突兀的邪惡指爪。石版底部還有兩條長了足爪的長腿，每條腿上各有三根前伸的足趾，和一根反折的第四足趾，可供抓握。底部左側角落裡還有一條尾部的印痕，呈現出我們非常熟悉的形狀，其中卻有怪異之處：一對對羽毛從那條極長尾巴的各個脊椎骨向兩側對稱生長。固然，所有始祖鳥的標本都各自擁有某種可觀之處，柏林標本卻是最完整的範例，由於其脆弱與優雅特性，生出極高的情緒與知性力量。

所有已知始祖鳥標本都來自於一個特定地點：德國的巴伐利亞地區。透過這個小小的窗口，我們得以管窺遠古世界（圖1）。少數幾隻始祖鳥在約一億五千萬年前死亡，落入遠古索倫霍芬區（Solnhofen，位於西德，保存了侏羅紀的大量動物化石，甚至包括了水母的柔軟組織——譯注）的水

域，當時那還是一處淺水瀉湖，周圍散布點點泥灘平地，底層是歷經數千萬年所沈積的細緻泥漿。一旦某隻始祖鳥由於意外、受傷或年老而死亡，牠的屍體便會沈到水中，深深埋藏於這種石灰質沈積之中，當時的昆蟲類、翼龍類、魚類、甲殼動物類、鸚鵡螺類，與其他在瀉湖中或附近生活的生物殘骸——還包括了一隻小型獸足類（theropod）肉食恐龍，這隻細頰龍（*Compsognathus*）證明了此處的致命風險。泥漿將屍體密封，保護它不會進一步腐朽毀壞，並因而保存了其中的解剖細部結構，

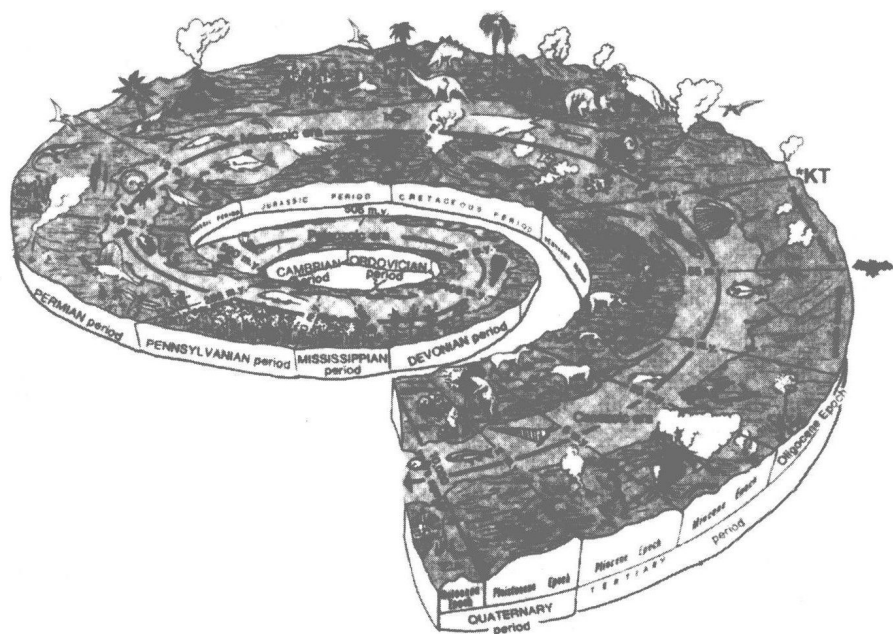


圖1 本圖顯示地質年代裡的「代」(era)與「紀」(period)。我們知道飛行的脊椎動物是在中生代（所稱爬行動物時代）演化出來。白堊紀與第三紀中間有一條K-T分界線（以*標示）。在這條K-T分界線形成之時，曾有一顆隕石撞擊地球，或許便因此導致非鳥類恐龍完全滅絕。

隨後石頭便逐漸滲入軀體並取而代之，隨著時日演進，沈積凝固形成細緻的石灰岩。後來，人類在十九世紀採用這類石灰岩進行精密石版印刷，這裡的石灰岩也成為最受珍視的完美石版印刷媒介。索倫霍芬石灰岩非常平滑，可以表現出最細膩的線條，並將藝術家巧手創作中的纖細紋理傳達無遺。這種巧合——索倫霍芬石灰岩的印刷價值——正是始祖鳥的奇妙故事裡不可或缺的要素。當然，石材還有其他各種潛在用途，人類自羅馬時代起，便一直開探索倫霍芬石灰岩當作道路的鋪面材料。一直到十九世紀晚期，平版印刷術才變得極為重要，這些美妙的細緻石塊也才變得具有高度價值，不再只是有用而已。因此，我們才開始煞費苦心以手工開採（至今仍是如此），於是才促使我們發現了始祖鳥與其他許多化石。每塊索倫霍芬石灰岩石片都是以手工鑿出，劈開檢視是否有瑕疵，分門別類，隨後還經常依所需規格進一步修整，製成精確的尺寸。整個過程有時會動用多達十二位熟練的採石工人，他們會仔細檢視所有石版的所有表面，因此，縱然他們不是刻意在尋找化石，倒也不會遺漏任何東西。正由於這種藝術家與始祖鳥文獻需求的巧合狀況，才形成這個發現背景。如果採用了更高度機械化的採石程序——這是其他領域的常規——肯定會摧毀這些化石。

然而，始祖鳥不僅是世界上最美麗的化石。縱然總共已有七件標本，始祖鳥仍居於獨一無二的位置。幾乎從最初發現以來，始祖鳥便一直是化石中的名流。始祖鳥在大眾與古生物學家的心目與理智中都占有崇高地位，其他標本均望塵莫及。無論是孩童與成人，當他們參觀展覽，凝視這些標本時，都會瞠目結舌，對其完整性與不可思議的性狀感到納悶。古生物學家看到原始標本的時候，也都體驗到同樣的敬畏感。你必須先略為認識古生物學，才能了解這種現象。投身這門科學的人大半充滿了激情，在處理相當罕見、也經常太過於零散的標本時，並不會因為遭遇種種困難而灰心。古生物學並不