

長期氣象判讀在林火行為預測上之應用

賴彥任
國立台灣大學森林所

邱祈榮
國立台灣大學森林所

林朝欽
行政院農業委員會林業試驗所

本文節錄自台大實驗林研究報告第 16 卷第 4 期

摘要

林火氣象為林火行為中最難以預測的因子之一，然而並非完全無法掌握。藉由長期的氣象資料累積與分析，可以事先判斷潛在的變化趨勢。氣象資料中以風、氣溫、相對濕度與降雨為影響林火行為的重要因子，尤以風為林火發生中最具影響力之氣象因子。一般而言，台灣山區受盛行風與山谷風之交互影響，長期氣象資料顯示，竹子湖受盛行風影響較大；日月潭雖每日有規律變化，但變化方式卻非海陸風或山谷風之特徵，可能受湖泊及周圍地形影響而有特殊型態；阿里山則在 7~12 月有明顯的山谷風特徵，1~6 月雖有山谷風特徵，但亦受盛行風影響。至於相對濕度，以 45% 為引燃的臨界時，竹子湖在 4 月；日月潭在 12 和 1 月；阿里山則從 11 月到隔年 4 月較可能影響林火發生。

由於台灣的地形複雜，各地的氣象皆有其特性，對林火行為之影響亦有不同。因此，台灣實應建立山區長期氣象資料收集系統，以供林火行為預測之參考，同時亦可將氣象資料應用在林火預警方面，以提昇林火管理之成效。

關鍵字：林火氣象、林火行為、山谷風、合成風

Application of Long-term Meteorological Data on Fire Behavior Prediction.

Yen-Jen Lai¹

Chyi-Rong Chiou¹

Chau-Chin Lin²

Department of Forestry, National Taiwan University¹

Division of Forest Protection, Taiwan Forestry Research Institute²

Abstract

Meteorological data is one of the most difficult predictable parameters in fire behavior, but doesn't mean that couldn't be handled at all. The potential fire behavior can still be predicted by analyzing long-term meteorological data. According to the result of this study, wind characters which affect fire behavior are dominated by monsoon at Chut-Ze-Hu area. While it is dominated by both lake and terrain effect at Sun-Moon-Lake area. But at A-Li-Shan area, it shows obvious pattern of mountain-valley breeze from July to December and is dominated by both monsoon and mountain-valley breeze winds from January to June. Concerning ignition probability, if relative humidity bellows 45% as the criteria, then April is the danger period at Chut-Ze-Hu; Winter (December and Janary) is susceptible at Sun-Moon-Lake. At A-Li-Shan area, November to April of next year are high fire months.

In order to provide the fast and correct fire weather information at fire site, we suggest the Taiwan Forestry Bureau creates a climate database which especially recommended in mountain and develop a Taiwan fire behavior model in the future.

Keyword: Fire Weather, Fire Behavior, Mountain-Valley Breeze, Resultant Wind

一、前言

由於氣象因子直接影響林火行為的發生時間和發生地點，因此，林火工作者(Fire Managers)特別

以“林火氣象”一詞來代表影響林火行為的氣象特性。現地的氣象專業人員可提供氣象資訊協助火場指揮人員預測林火行為，常提供的資料以影響林火行為最直接的因子如氣溫、相對濕度、氣流穩定度、風速及風向等。除此之外，長期的氣象或氣候條件亦會影響燃料濕度，間接影響林火行為。因此，短

期及長期的氣象因子均會影響火場變化 (Fuller,1991)。

森林大火發生通常由下列四項因素綜合而成：過度累積的燃料、持續乾旱、強風以及火源引進。例如 1987 年中國大陸東北林火及 1988 年美國黃石公園林火，皆已證明持續乾旱及累積燃料過度為主因 (de Golia,1989;Xueying and Ende,1990)。

氣象變化是森林火最不易掌握的因子。在研究林火氣象時，除了嘗試去瞭解各種氣象情況下對於林火特性的影響外，最主要的動機，即是藉由瞭解氣象與林火的交互關係後，能從氣象的變化中預測林火的行為。綜合上述特性，可將林火氣象與林火行為關係列表，如表 1。

本文將以竹子湖、日月潭及阿里山這三個區域的氣象，探討不同時間尺度的氣象變化下，潛在的林火引燃率與林火行為特性。

表 1. 林火氣象與林火行為關係表^[9]

Table1. Relationship between fire climate and fire behavior. ^[9]

氣象因子	引燃火災	火勢蔓延
Wind 風	可能降低燃料的溼度，導致火災的可能性增加。	為影響火勢的主要因素，會加快火災蔓延速度且增大火災強度。
Relative humidity 相對溼度	低相對溼度，則易使燃料溼度降低，導致火災的可能性增加。	低相對溼度，則易使燃料溼度降低，導致火勢蔓延加速。
Precipitation 降雨	增加燃料的溼度，降低火災的可能性。	增加燃料的溼度，可減低火勢蔓延。
Temperature 溫度	溫度高會降低溼度，增加火災的可能性。	溫度高將降低溼度，加速火勢蔓延。

二、材料與方法

(一) 研究材料

氣象因季節性與日夜的變化而有相當複雜的變異。台灣屬於島型氣候，原本受到季風的影響就很大；再加上地形起伏劇烈且複雜，各地都有不同的氣象特性，本研究以中央氣象局局屬測候站位於山區且具獨特代表性的氣象特性進行探討，並推測此區域潛在林火的行為。分析測站為竹子湖、日月潭和阿里山，分析時間從 1995 年 1 月 1 日起至 1999 年 12 月 31 日的逐時資料。

據 Lin(1999)統計，從 1963~1998 年期間臺灣的森林火災有 15%發生在松林。根據試驗結果，當相對濕度約為 45%時台灣二葉松有 90%的引燃機率；相對濕度約為 60%時有 50%的引燃機率；相對濕度約為 90%時引燃機率幾乎為 0%。利用此結果，進行相對濕度小於 45%發生次數月統計表，以瞭解三地的林火引燃機率。

當風向轉換，亦代表著林火的擴展方向之變化，風速的增大，蔓延速度將增快，因此對於救火當下的救火員安全與指揮部署而言，為指標性的參考因子。

(二) 風之分析方法說明

風對於林火行為扮演著相當關鍵的角色，因此，對此部分的資料，將進一步分析。由於風具有向量特性，量測時需同時考量到風速以及風向，在分析上有別於其他的資料，因此轉換為合成風和穩定度加以探討。

1.合成風(Resultant Wind)

風的向量平均，稱之為「合成風」，指某地某高度在一定期間全部風向和風速的向量平均，可用下列式子表示(臧啓勳、嚴夢輝,1978; 么枕生、丁裕國,1990)：

$$\bar{V} = \frac{\sum \vec{V}}{n}$$

式中，箭頭表示水平向量。

$\sum V$ ：水平向量風速之總和；

n：樣本數，即觀測總次數。

合成風即是將向量各分量相加求得的向量和。計算時，各分速所取的方向，通常為東西向和南北向的分量：

$$V_{E-W} = \frac{1}{n} \sum V \cdot \sin \theta$$

$$V_{N-S} = \frac{1}{n} \sum V \cdot \cos \theta$$

式中， θ ：自北順時針量測的風向方位角。

因此合成風速為 $V_R = \sqrt{V_{E-W}^2 + V_{N-S}^2}$ ；合成

風向為 $\theta_R = \tan^{-1}\left(\frac{V_{E-W}}{V_{N-S}}\right)$

藉由合成風速以及合成風向的計算，可以瞭解此處在計算時間內的累積貢獻風速及風向的關係。

2.穩定度(Steadiness)

欲瞭解一地風向的變動情形，可取逐年不計風向之風速(平均風速)與合成風速做比較，可得該地之風的穩定度，若是某地在某一段時間內之風向變化不大，則表示該地之風的穩定度大，受盛行風的影響較大；反之，若該地風向變化無常，則表示該地風的穩定度小，無盛行風或盛行風不明顯。亦即合

成風速趨近觀測到的平均風速，穩定度即趨近於100%；反之，則穩定度趨近於零(魏聰輝等,1995; 張雅惠,2001)。計算公式如下(戚啓勳、嚴夢輝,1978)：

$$S = \frac{V_R}{V_S} \times 100\%$$

式中，S：穩定度；

V_R ：合成風速；

V_S ：平均風速。

除了可對逐月資料進行分析，瞭解年間盛行風變化外，亦可對不同月份逐時資料進行合成風速、風向以及穩定度分析，由24小時的變化趨勢來研判此地受海陸風或山谷風影響的程度。

三、結果與討論

由月統計資料(表2)看季節性變化差異；再者，由圖1針對風速與風向的逐時分析資料看日夜變化特性。綜合分析可推測當地的潛在林火行為分別為：

1. 竹子湖

- (1) 年間平均相對濕度均在80%以上，逐月相對濕度低於45%的發生頻率以4月最顯著，為發生火災的危險度較高的月份。
- (2) 年間平均風速冬季明顯高於夏季。冬天火災發生時，火場擴展情形相對的較快。
- (3) 年間合成風向發生夏季為西北風，冬季為東北風。
- (4) 年間風之穩定度來看，冬季高於80%，顯示冬季受盛行風影響大。再比較風向，可研判此處冬天受東北季風影響很大。而夏季則有下降至30%的情形，顯示夏季風向變化較大。
- (5) 以逐時穩定度變化情形來看，穩定度以夜間較穩定，日間較不穩定。再看風速，夜間較穩定，但日間平均風速較夜間高，合成風反而較低，顯示此處白天時風向經常反覆不定，對於林火行為將較難掌控。

2. 日月潭

- (1) 逐月相對濕度低於45%的發生頻率以1月和12月較為顯著，因此這兩個月份發生火災的危險度較高。
- (2) 逐時相對濕度以日間較低，逐時相對濕度低於45%的發生頻率以11~13時最高，顯示此時段的燃料引燃率將最高。
- (3) 年間平均風速變化不大，介於0.7~0.8m/s。
- (4) 年間合成風向夏季以西南風為主，冬季以東南風為主。
- (5) 年間風之穩定度來看，全年皆低於35%，且風速不大，顯示受盛行風影響不大。
- (6) 每日的逐時風速及風向變化情形，1時合成風向為南風或東南風，平均風速約0.8~1.0

m/sec；於3~7時轉為為東北風，8~10時轉全東風，再急轉為北風，此時平均風速最小，約0.2~0.4 m/sec；爾後漸轉為西風，至18~19時轉成為南風，此時平均風速最大，約1.2~1.4 m/sec；風速隨後漸減，風向維持南風或東南風。此處每日的風速及風向變化可能因湖泊效應，而有不同的特性。對於林火行為不可再以基本盛行風或山谷風的觀念看待，以免誤判情勢。

- (7) 逐時穩定度在9月13~24時較高，3、6和12月則以13~19時較高，此時的火場擴展方向較好掌握；然於1~6時穩定度則較低，風速都還維持在0.8~1.0 m/sec，顯示此時風向極不穩定，為最難控制火場的時刻。

3. 阿里山

- (1) 逐月相對濕度低於45%的發生頻率以11月~隔年的4月較為顯著，相對為發生火災的危險度較高。
- (2) 年間平均風速變化不大，年平均為1.2 m/sec；3月最高，為1.5m/sec。
- (3) 年間合成風向於8和10月為東南風，9月為東北風，其餘月份為西南風為主。
- (4) 年間風之穩定度來看，7~12月低於20%，顯示受盛行風影響不大；然於1~6月則相對的較高，應有受盛行風較大影響，平均風速亦較高。
- (5) 每日的逐時風速及風向變化情形，顯示此處有山谷風變化趨勢。夜間風向偏西南風，平均風速依季節不同，約1.0~1.7 m/sec；日間風向則偏西北風，平均風速依季節不同，約0.8~1.6 m/sec。在7~9時和16~18時，風向轉變，風速亦明顯下降。如此，24小時風速變化呈現如“W”字樣的趨勢，即為山谷風的典型曲線。
- (6) 逐時穩定度在日間較高，夜間較低，風向轉換之際則最低，火場因風的特性，將有明顯日間往山頂燒，夜間又返轉往山谷燒的趨勢。

四、結論

林火氣象為林火行為中最難以預測的因子之一，然而並非完全無法掌握。藉由長期的氣象資料累積與分析，還是可以事先判斷可能的變化趨勢。研究分析顯示，風之特性在竹子湖受盛行風影響較大；日月潭每日有規律變化，但變化方式卻非海陸風或山谷風之特徵，可能受湖泊及周圍地形影響的特殊型態；阿里山則有明顯的山谷風特徵。

唯擁有全面且健全的系統，方能提供最正確的資訊供決策參考使用。針對林火氣象，林務局應儘

速建立氣象資料庫，累積各地尤其是山地的氣象資料，並發展即時氣象收集分析系統，以能立即由中央氣象局獲得氣象資訊；亦應發展適合臺灣的林火行為預測模式，以達洞燭機先之效。

五、參考文獻

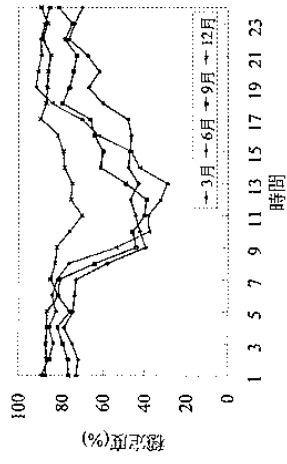
1. 么枕生、丁裕國 1990 氣候統計 氣象出版社北平 pp.266-300。
2. 張雅惠 2001 風對福山試驗林林木結構影響之研究 國立彰化師範大學碩士論文 pp.22-37。
3. 戚啓勳、嚴夢輝 1978 氣象統計學 復興書局台北 PP.30-33。
4. 魏聰輝、姚榮鼎、周瑞龍 1995 溪頭地區山谷風特性之研究 臺大實驗林研究報告 9(4):71-95。
5. de Golia, J. 1989 Fire-The story behind a force of nature Las Vegas NV: K.C. Publication.
6. Fuller, M. 1991 Forest fires. John Wiley & Sons, Inc. United States. pp.49-68.
7. Lin, C. C. 1999 Modeling probability of ignition in Taiwan red pine forests. Taiwan Journal of Forest Science 14(3):339-344.
8. Xueying, D. and J. Ende 1990 The Forest Conflagration of May (1987) in Northeastern China: Proceedings of the Third International Symposium on Fire Ecology, Freiburg, FRG. pp.169-174.
9. Introduction to Fire.
<http://www3.gov.ab.ca/srd/forests/resedu/etc/pfb.html>

表 2. 逐月氣象統計表

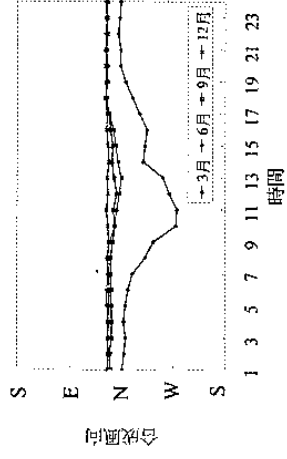
Table 2. Monthly means of weather stations.

項目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均/ 合計*
地點	竹子湖												
平均氣溫(°C)	11.7	12.2	14.6	18.1	20.9	23.5	24.8	24.5	22.7	19.8	16.4	13.3	18.5
最高氣溫(°C)	15.3	15.8	18.8	22.4	24.9	27.5	29.4	29	26.9	23.4	19.7	16.8	22.5
最低氣溫(°C)	9.2	9.6	11.7	15.1	18.2	20.9	21.9	21.8	20.3	17.7	14.2	10.9	16
平均降雨日數	23	21	21	17	18	14	11	13	16	20	22	22	218*
累積降雨量(mm)	269	277	240	207	275	295	248	446	588	837	521	320	4526*
平均相對濕度(%)	88	89	88	87	87	87	84	84	85	87	88	88	86
相對濕度小於 45%發生次數	6	3	1	33	19	0	0	0	16	8	0	0	86*
平均風速(m/sec)	2.4	2.3	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0	0.9	1.5	2.0	2.3	2.5	1.7
合成風速(m/sec)	2.2	1.8	1.2	0.9	0.8	0.6	0.4	0.3	1.0	1.6	1.9	2.1	1.2
合成風向(°)	24.2	25.7	22.8	18.0	13.5	336.5	327.3	338.5	20.4	28.4	27.5	25.0	
穩定度(%)	88.1	80.5	70.0	60.0	62.2	52.1	36.9	30.0	66.9	79.2	80.5	83.9	65.9
地點	日月潭												
平均氣溫(°C)	14.1	14.7	16.9	19.3	21	22.2	22.9	22.5	22.1	20.8	18.2	15.3	19.2
最高氣溫(°C)	19.5	19.8	22.1	24.2	25.6	26.9	28	27.3	26.9	25.7	23.3	20.6	24.2
最低氣溫(°C)	10.9	11.6	13.7	16.3	18.3	19.6	20	19.8	19.3	17.9	15.2	12.2	16.2
平均降雨日數	8	10	12	14	20	21	19	21	14	7	6	7	159*
累積降雨量(mm)	52	103	119	192	354	484	350	432	200	55	25	38	2405*
平均相對濕度(%)	77	81	82	84	86	86	85	87	85	83	80	77	82
相對濕度小於 45%發生次數	60	28	7	21	0	0	21	0	2	2	13	45	199*
平均風速(m/sec)	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
合成風速(m/sec)	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
合成風向(°)	179.3	168.6	174.0	200.7	206.3	207.0	179.6	202.2	196.4	205.1	200.2	179.0	
穩定度(%)	21.5	16.5	14.0	24.1	23.0	11.8	14.0	22.4	33.4	16.5	19.6	13.4	19.2
地點	阿里山												
平均氣溫(°C)	5.7	6.7	9	11.1	12.6	14	14.2	14	13.3	12	9.8	7.1	10.8
最高氣溫(°C)	10.9	11.3	13.7	15.6	16.6	18	18.8	18.3	18	17.4	15.3	12.5	15.5
最低氣溫(°C)	1.8	3	5.2	7.5	9.4	10.9	10.7	10.8	9.8	8.2	5.8	3	7.2
平均降雨日數	8	10	11	13	20	21	21	23	19	12	7	7	172*
累積降雨量(mm)	88	144	161	257	531	711	591	839	345	136	47	61	3911*
平均相對濕度(%)	81	85	82	85	90	90	90	93	91	88	84	80	86
相對濕度小於 45%發生次數	240	186	273	187	26	13	2	9	27	37	164	270	1434*
平均風速(m/sec)	1.3	1.4	1.5	1.3	1.2	1.3	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2
合成風速(m/sec)	0.4	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3
合成風向(°)	251.4	263.8	261.9	241.9	248.1	226.2	201.1	131.2	42.1	100.6	201.1	208.7	
穩定度(%)	31.8	44.5	43.1	31.8	30.3	26.8	13.8	7.2	13.8	8.8	9.0	18.2	23.3

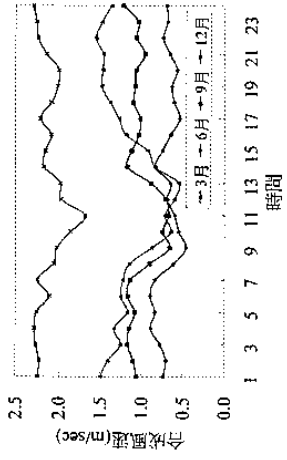
註: * 為合計值。



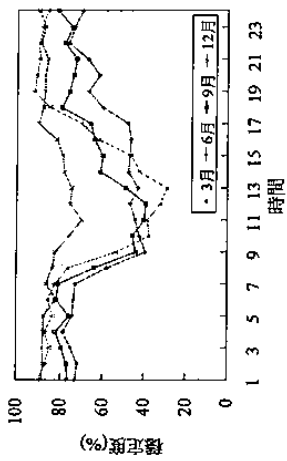
(a) 竹子湖平均風速逐時變化



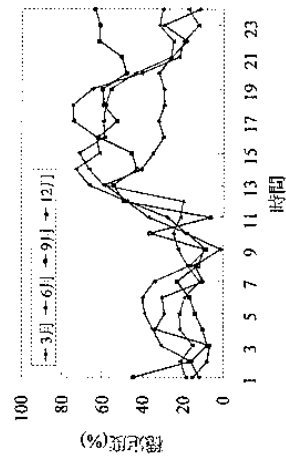
(b) 竹子湖合成風向逐時變化



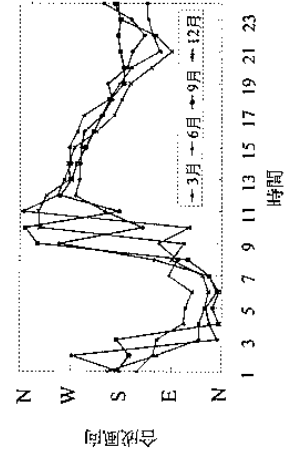
(c) 竹子湖合成風速逐時變化



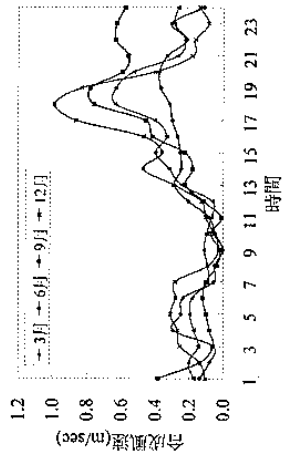
(d) 竹子湖穩定度逐時變化



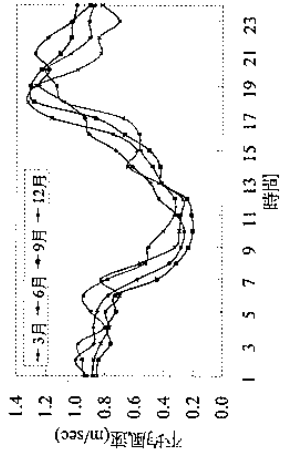
(e) 日月潭平均風速逐時變化



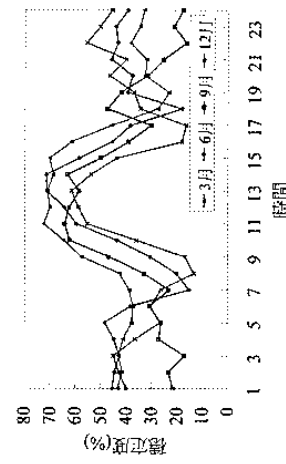
(f) 日月潭合成風向逐時變化



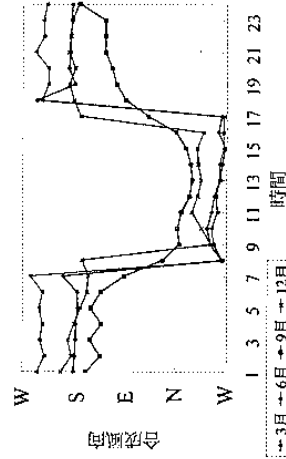
(g) 日月潭合成風速逐時變化



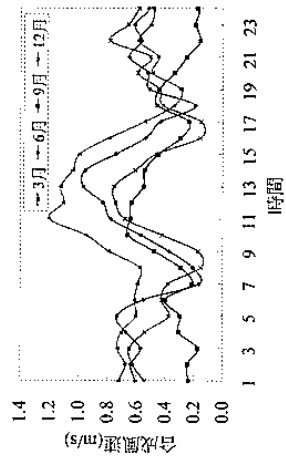
(h) 日月潭穩定度逐時變化



(i) 阿里山平均風速逐時變化



(j) 阿里山合成風向逐時變化



(k) 阿里山合成風速逐時變化

(l) 阿里山穩定度逐時變化

圖 1. 竹子湖、日月潭、阿里山 3、6、9、12 月逐時統計圖

Fig1. Hourly average wind speed, resultant wind direction and steadiness at Chut-Ze-Hu, Sun-Moon-Lake and A-Li-Shan in March, July, September and December.